



Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang

Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil

I.E. Hoving, H. Massop, K. van Houwelingen, J.J.H. van den Akker en J. Kollen



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang

Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil

I.E. Hoving ¹⁾

H. Massop ²⁾

K. van Houwelingen ¹⁾

J.J.H. van den Akker ²⁾

J. Kollen ³⁾

1 Wageningen UR Livestock Research

2 Wageningen UR Alterra

3 Grontmij Nederland B.V.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door provincie Noord Holland.

Wageningen UR Livestock Research

Wageningen, juni 2015

Livestock Research Report 875

Hoving, I.E., H. Massop, K. van Houwelingen, J.J.H. van den Akker en J. Kollen, 2015. *Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang; Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 875.

Samenvatting NL

In polder Zeevang is een veldonderzoek uitgevoerd naar de toepassing van onderwaterdrains op veengrond bij drie slootpeilregimes, te weten Vast hoog peil, Vast laag peil en Zomer- en winterpeil. De drains verlaagden de variatie in grondwaterstanden significant. Dit betekent dat het grondwaterstandverloop vlakker was dan in de ongedraineerde situatie. De drains, die onder slootpeil liggen, hadden zowel een drainerend effect (extra waterafvoer) als een infiltrerend effect (extra water aanvoer). Het toepassen van een zomer- en winterpeil is gunstig voor het verminderen van maaiveldafval, maar tijdens natte perioden in het groeiseizoen leveren onderwaterdrains bij een peil van 40 cm –maaiveld geen extra afvoercapaciteit op. Het belang van melkveehouders, namelijk het vergroten van de gebruiksmogelijkheden van het grasland, wordt daardoor onvoldoende gediend. Een meer flexibelere invulling van de perioden, waarop de slootpeilen volgens de beleidsregels omhoog en omlaag gezet moeten worden, is gewenst.

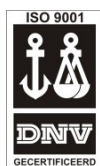
Summary UK

In the Zeevang polder a field research was carried out about the use of submerged drains on peat soil at three ditch level regimes, namely Fixed high level, Fixed low level, and Summer and winter level. The drains reduced the variation in groundwater significantly. This means that the groundwater level gradient was flatter than in the undrained situation. The drains that are below ditch level, had a draining effect (extra water) as well as an infiltrating effect (additional water supply). The application of a summer and a winter level is beneficial for reducing land subsidence, but during wet periods of the growing season the extra water drainage capacity is insufficient at a ditch level of 40 cm below ground level. The main interest of dairy farmers, namely to increase the usability of their grassland, is thereby insufficiently served. A more flexible policy implementation of the times where ditch levels are increased or decreased is needed.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
2	Materiaal en methode	13
	2.1 Bodemkarakteristiek proeflocatie	13
	2.2 Achtergrond toepassing onderwaterdrains	14
	2.3 Proefopzet	15
	2.4 Peilbeheer	16
	2.5 Teelt en bemesting	17
	2.6 Waarnemingen	17
	2.7 Neerslag	18
	2.8 Statistiek	18
3	Resultaten	21
	3.1 Slooppeil en drooglegging percelen	21
	3.2 Voorspellende waarde modellen	21
	3.3 Analyse modelparameters grondwaterstanden	22
	3.4 Vergelijking gemodelleerde grondwaterstanden	24
	3.5 Vergelijking gemeten grondwaterstanden	25
	3.6 Grasopbrengsten	28
	3.6.1 Droge stofopbrengst	28
	3.6.2 Stikstofopbrengst	30
	3.7 Botanische samenstelling	32
4	Discussie	34
	4.1 Modelleren grondwaterstanden	34
	4.2 Analyse grondwaterstanden	34
	4.3 Verschil tussen percelen	36
	4.4 Meting grondwaterstanden	37
	4.5 Vergelijking peilregimes en effect onderwaterdrains	39
	4.6 Grasopbrengsten	42
5	Onderwaterdrains in de praktijk	43
	5.1 Betekenis onderwaterdrains voor melkveehouders	43
	5.1.1 Effect op grasgroei en graslandgebruik	43
	5.1.2 Benutting nutriënten	43
	5.1.3 Maaiveldligging en ontwatering	44
	5.1.4 Leverbot	44
	5.2 Betekenis onderwaterdrains voor de maatschappij	44
	5.2.1 Maaiveldaling	44
	5.2.2 Belasting oppervlaktewater	45
	5.2.3 Broeikasgasemissie	47
	5.2.4 Waterbeheer en wateroverlast	47
	5.3 Betekenis onderwaterdrains voor weidevogels	48
	5.4 Aanleg vraagt maatwerk	48
6	Economie onderwaterdrains	50

7	Conclusies	54
8	Aanbevelingen	57
	Literatuur	58
	Bijlage 1 Samenvatting onderzoek polder Zeevang 2007-2010	60
	Bijlage 2 Drainage-advies proefpercelen	63
	Bijlage 3 Plattegrond proefpercelen	72
	Bijlage 4 Statistische analyse grondwaterstanden	78
	Bijlage 5 Gemodelleerde grondwaterstanden	79
	Bijlage 6 Gemeten droge stofopbrengsten gras	83
	Bijlage 7 Stikstofopbrengst gras	84
	Bijlage 8 Botanische samenstelling	86
	Bijlage 9 K-waarden polder Zeevang	89

Woord vooraf

Maaiveldaling op landbouwgrond in veenweidegebieden door veenafbraak is een belangrijk maatschappelijk probleem, omdat hierdoor het waterbeheer steeds complexer wordt en het een steeds hogere capaciteit van gemalen vereist om de aan de vereiste oppervlaktewaterpeilen voor landbouwgrond te kunnen voldoen. De kosten voor waterbeheer worden zodoende ook steeds hoger. Door veenafbraak komt CO₂ vrij en dit draagt bij aan de broeikasgasproblematiek. Gezien de omvang van het veenweideareaal in Nederland van 223.000 ha is ook dit een niet te onderschatten maatschappelijk probleem.

Maaiveldaling op veengrond is sterk gerelateerd aan de drooglegging van landbouwgrond. Om de daling tot een minimum te beperken, dient vooral in de zomerperiode de grondwaterstand zo hoog mogelijk gehouden te worden en dit vraagt om hoge slootpeilen. Met onderwaterdrains kan in potentie de maaiveldaling gehalveerd worden zonder het slootpeil extreem te verhogen. Daarbij dragen onderwaterdrains bij aan het verbeteren van de landbouwkundige productieomstandigheden. Met een zomer- en winterpeil kan de werking van de drains nog verder geoptimaliseerd worden.

In opdracht van provincie Noord-Holland is, als een vervolg op een onderzoek naar de toepassing van onderwaterdrains in polder Zeevang bij vaste slootpeilen (Hoving *et al.*, 2011), een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van onderwaterdrains bij een zomer- en winterpeil. Gezien het maatschappelijke belang van het verminderen van veenafbraak verleent provincie Noord-Holland subsidie op het aanleggen van onderwaterdrains. De resultaten van het onderzoek dienen zowel ter onderbouwing van de voorwaarden die aan de uitvoeringsregeling gesteld worden, als ter onderbouwing van de beleidsregels die het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier hanteert voor het verlenen van peilafwijkingen ten opzichte van het peilbesluit. Het peilbesluit voorziet in een drooglegging van maximaal 40 cm gedurende het gehele jaar. Bij het aanvragen van ontheffing voor onderbemaling (slootpeil lager dan 40 cm beneden maaiveld) stelt het Hoogheemraadschap de toepassing van onderwaterdrains verplicht. Daarbij mag alleen in de winter onderbemaling worden toegepast tot maximaal een drooglegging van 60 cm om te natte omstandigheden (geringe draagkracht van de graszode) in het vroege voorjaar en in het najaar te verbeteren.

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Grontmij Nederland B.V. en heeft plaatsgevonden op het melkveebedrijf van MTS. S. en J. de Boer en M. de Boer-Raes en Y.M. de Boer-Beers in Warder. Dit rapport beoogt een bijdrage te leveren aan een doelmatige toepassing van onderwaterdrains.

Dr. ir. B.G. Meerburg
Afdelingshoofd Veehouderij en omgeving, Wageningen UR Livestock Research

Samenvatting

In dit rapport zijn de resultaten beschreven van een veldonderzoek dat is uitgevoerd naar de toepassing van onderwaterdrains op veengrond. Het veldonderzoek had als doel het kwantificeren van het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand en het graslandgebruik bij een slootpeil in de winter van 60 cm en een slootpeil in de zomer van 40 cm beneden maaiveld (verder aangeduid als - maaiveld). Onderwaterdrains zijn buisdrains die onder slootpeil worden aangelegd zodat deze zowel water afvoeren (draineren) als water aanvoeren (infiltreren). Naast de effecten van onderwaterdrains is de betekenis van onderwaterdrains voor de praktijk beschouwd.

Veldonderzoek onderwaterdrains

Door het toepassen van onderwaterdrains bij een zomer- en winterpeil wordt naar verwachting een hogere zomergrondwaterstand behaald dan in de oorspronkelijke situatie zonder drains met in het gehele jaar een drooglegging van 40 cm -mv. Hierdoor zullen de nieuwe beleidsregels voor het verlenen van peilafwijkingen (met het voorschrift van onderwaterdrains) in ieder geval niet leiden tot extra bodemdaling en waarschijnlijk tot minder maaiveld daling. De zomergrondwaterstand is hierbij cruciaal.

Het effect van drie slootpeilregimes (hoofdbehandeling) en onderwaterdrains (sub-behandeling) op het verloop van de grondwaterstand is onderzocht en statistisch getoetst. De peilregimes waren Vast hoog peil (40 cm -maaiveld), Zomer- en winterpeil (slootpeil in de winter van 60 cm en slootpeil in de zomer van 40 cm -maaiveld) en Vast laag peil (60 cm -maaiveld). Tevens zijn de effecten van de behandelingen op de droge stofopbrengst en de stikstofopbrengst van gras onderzocht. Een verandering van de stikstofopbrengst kan een indicatie zijn voor een veranderde veenaafbraak. Door de afbraak van veen komt stikstof vrij wat als meststof wordt benut voor grasgroei.

Zonder onderwaterdrains verschilde het grondwaterstandsverloop tussen de peilregimes nauwelijks. Onderwaterdrains zorgden voor een significant vlakker verloop van de grondwaterstanden ten opzichte van de ongedraineerde situatie. Dat betekent dat de variatie in grondwaterstanden kleiner was. De drains hadden zowel een drainerend effect als een infiltrerend effect. Het onderscheid in het grondwaterstandsverloop tussen wel en geen onderwaterdrains kwam vooral tot uiting in perioden met een gering neerslagoverschot in de winter (winter 2012-2013) en een fors neerslagtekort in de zomer (zomer 2013). In het nattere jaar 2014 was het verschil in gemeten grondwaterstanden veel geringer.

De hypothese dat een zomer- en winterpeil gemiddeld zowel de zomergrondwaterstand verhoogt als de wintergrondwaterstand verlaagt werd bevestigd. Het toepassen van een zomer- en winterpeil had een significant geringere variatie in grondwaterstanden tot gevolg dan een vast hoog slootpeil en een vast laag slootpeil. De betere werking van onderwaterdrains bij een zomer- en winterpeil wordt echter toegeschreven aan een verschil in horizontale waterdoorlatendheid van de bodem tussen percelen, hoewel dit niet uit bodeminventarisaties naar voren kwam.

In Tabel 1 staan de maximum en minimum grondwaterstanden per slootpeilregime en per drainbehandeling gemiddeld voor de gehele proefperiode en de absolute gemeten hoogste en laagste grondwaterstanden.

Tabel 1

Maximum en minimum grondwaterstanden gemiddeld (2012-2014) en gemeten per slootpeilregime en per drainbehandeling (cm -maaiveld).

		Gemiddeld		Gemeten	
		Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
<i>Vast hoog peil</i>	Geen drains	6	60	6	98
	Onderwaterdrains	14	52	7	82
	Verschil	-8	8	-1	16
<i>Zomer- en winterpeil</i>	Geen drains	6	61	4	98
	Onderwaterdrains	31	49	14	71
	Verschil	-25	12	-10	27
<i>Vast laag peil</i>	Geen drains	6	65	6	104
	Onderwaterdrains	21	62	13	96
	Verschil	-15	3	-6	8

Onderwaterdrains verminderden bij een hoog slootpeil in het groeiseizoen de maaiveldddaling naar berekening substantieel (30–50%), maar zorgden bij een neerslagoverschot door de geringe drooglegging voor hogere grondwaterstanden. Dit vergroot het risico op vernatting, terwijl onderwaterdrains juist voor een droger maaiveld moeten zorgen. Bij een laag slootpeil voerden onderwaterdrains wel extra water af.

Het toepassen van een zomer- en winterpeil is gunstig voor het verminderen van maaiveldddaling, maar dient onvoldoende het belang van melkveehouders, namelijk het verbeteren van de draagkracht van de graszode tijdens natte perioden. Willen melkveehouders profijt hebben van een investering in onderwaterdrains dan dienen de drains tijdens natte perioden in het groeiseizoen zodanig extra water af te voeren dat het maaiveld substantieel droger is. De aanbeveling is om wel een zomer- en winterpeil te hanteren, maar met een meer flexibelere invulling van data waarop de slootpeilen moeten veranderen. Hierbij moet rekening gehouden worden met de actuele weersomstandigheden.

Onderwaterdrains in de praktijk (westelijkveenweidegebied met hoge slootpeilen)

In de beschouwing van de waarde van onderwaterdrains voor de praktijk is onderscheid gemaakt in de betekenis voor de landbouw, voor de maatschappij en voor weidevogels.

Landbouw

Uit metingen en ervaringen blijkt dat de drainerende werking van onderwaterdrains ten goede komt aan de draagkracht van de graszode en daarmee aan de gebruiksmogelijkheden van het grasland voor melkveehouders. De mate van drainage wordt echter sterk bepaald door de hoogte van het slootpeil. Bij een lager slootpeil van 55 cm –maaiveld wordt de afvoer van water vergroot; bij een hoger slootpeil van 35 cm –maaiveld is tijdens langere natte perioden in het groeiseizoen de extra waterafvoer onvoldoende. De onderzoeksperioden waren te kort om een verbetering van de botanische samenstelling waar te nemen. De grasproductie blijft bij bemesting volgens praktijk op peil; een verminderde beschikbaarheid van stikstof uit de bodem wordt gecompenseerd door een betere stikstofbenutting uit mest. Door een droger maaiveld wordt het risico op afspoeling van mest naar het oppervlaktewater verminderd. Greppels worden droger waardoor in potentie leverbotinfectie bij koeien vermindert. Op langere termijn nivelleren onderwaterdrains de maaiveldhoogte binnen een perceel.

Maatschappij

Uit eerder onderzoek blijkt dat afhankelijk van factoren als weerjaar, perceelsbreedte en kwel/wegzijging de behaalde verhoging van de laagste grondwaterstand 10-20 cm (30 cm in een extreem droog jaar), en de behaalde verlaging van grondwaterstandpieken 20-30 cm bedraagt. In het algemeen is de verwachting dat onderwaterdrains de maaiveldddaling bij een zomerpeil van 40 cm – maaiveld tenminste halveren. Metingen bevestigen dit. Vermindering van veenafbraak vertaalt zich in een vermindering van de CO₂-emissie. Daarbij verlaagt toepassing van onderwaterdrains naar verwachting (metingen en modellering onderzoek) de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en is daarmee een gunstige Kaderrichtlijn Water maatregel.

Uit modelonderzoek van Alterra blijkt dat de extra hoeveelheid water die in de winter moet worden uitgeslagen nihil is. Extreme regenval blijkt bij een situatie met onderwaterdrains niet te leiden tot een extra grote verhoging van het slootpeil. Op de inlaat in de zomer blijkt toepassing van onderwaterdrains wel een duidelijke invloed te hebben. Berekend is dat de inlaat in gemiddeld droge tot zeer droge jaren met 10-15% toeneemt. Op de lange termijn wordt de inlaatbehoefte door maaiveldddaling iets kleiner. De resultaten van de modelberekeningen blijken sterk afhankelijk van de toegestane peilvariaties. Het toelaten van ruime peilvariaties van 5 tot 10 cm kan extra in- en uitlaat sterk beperken. Ook spelen grootte en aard van de onderrand - kwel of wegzijging - een belangrijke rol.

Weidevogels

Onderzoek door Landschapsbeheer Zuid-Holland (2011 en 2012) en het Louis Bolk Instituut (mei 2013) toonden geen systematische verschillen aan in beschikbaarheid van regenwormen en emelten in het broedseizoen tussen wel en geen onderwaterdrains. Onderwaterdrains geven een droger maaiveld met minder of geen water in de greppels wat nadelig kan zijn voor de toegankelijkheid van voedsel voor weidevogels door een hogere indringingsweerstand. In het onderzoek van het Louis Bolk Instituut (mei 2013) werden kritische drempelwaarden, die in de literatuur werden gevonden, bij onderwaterdrains niet overschreden. Een belangrijk gunstig neveneffect kan zijn dat door een verbetering van de draagkracht van de graszode meer geweid en minder gemaaid gaat worden. Een verruiming van de beweidingmogelijkheden is wellicht gunstig doordat koeien op relatief kort gras worden geweid (zeker in het vroege voorjaar). Daarbij geven de mestflatten extra insecten en dus voedsel voor de kuikens en bieden de weidebossen schuilmogelijkheden.

Economie onderwaterdrains

De kosten van onderwaterdrains bedragen ongeveer 1 euro per strekkende meter. Bij een drainafstand van 6 m is dit ongeveer 1800 euro per ha en bij een drainafstand van 4 m is dit ongeveer 2600 euro per ha (inclusief eindbuizen ed.). Uit veldproeven blijkt vooralsnog niet dat grasproductie wordt vergroot. Vooral extra weidegang van melkvee geeft een beter economisch resultaat. Berekeningen geven als resultaat dat de kosten voor onderwaterdrains niet gedekt worden of dat zelfs het arbeidsinkomen daalt. De hoogste dekking van de kosten wordt gehaald in situaties waarbij in de gedraineerde situatie de drooglegging 60 cm – maaiveld bedraagt. Bij een drooglegging van 40 cm wordt het arbeidsinkomen lager. Ingeschat wordt dat bij een flexibelere invulling van een zomer- en winterpeil (zie aanbevelingen) wel de gewenste extra beweidingruimte gerealiseerd wordt, waardoor de jaarlijkse kosten voor onderwaterdrains voor 71% worden gedekt bij een drainafstand van 6 m en voor 40% worden gedekt bij een drainafstand van 4 m. Op langere termijn zouden lagere kosten voor een betere vlakligging van percelen en een verlaagde infectiedruk van leverbot ook meegeteld moeten worden. Deze kosten zijn echter onbekend en lastig te kwantificeren.

Aanbevelingen

Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Een voldoende laag slootpeil is hierbij van groot belang. Het gebruik van onderwaterdrains om maaiveldddaling te verminderen vraagt echter om relatief hoge slootpeilen. Door variërende weersomstandigheden (tussen jaren en binnen jaren) komen vaste slootpeilen onvoldoende aan de tegengestelde eisen tegemoet. Voor de landbouw is bij het hanteren van hoge peilen in het groeiseizoen een dynamisch(er) peilbeheer gewenst om ook in perioden met veel neerslag het slootpeil te kunnen verlagen om zo daadwerkelijk profijt te hebben van onderwaterdrains. Alleen peilverlaging in de wintermaanden geeft onvoldoende voordeel.

Belangrijk is om in de maatschappelijke overweging van onderwaterdrains de effecten van klimaatverandering mee te wegen. Naar verwachting verdubbelt de maaiveldddaling aan het eind van deze eeuw. Onderwaterdrains kunnen de kosten gepaard gaande met veenoxidatie, maaiveldddaling en CO₂ emissies verlagen en het veenweidegebied economisch levensvatbaar houden. Aanbevolen wordt om de bestaande pilots met onderwaterdrains te blijven monitoren, ten minste voor wat betreft het effect op maaiveldddaling en het functioneren van de drains.

1 Inleiding

Onderwaterdrains worden toegepast ter verbetering van de landbouwkundige productieomstandigheden en ter vermindering van de maaiveldddaling. Onderwaterdrains zijn buisdrains die onder slootpeil liggen, zodanig dat deze zowel draineren als infiltreren. Hierdoor wordt gemiddeld de wintergrondwaterstand lager en de zomergrondwaterstand hoger. Onderwaterdrains nivelleren dus het grondwaterstandsverloop. Lagere grondwaterstanden in het vroege voorjaar en in het najaar (winterhalfjaar), maar ook in het groeiseizoen vergroten de draagkracht van de graszode, waardoor het aantal dagen waarop grasland geweid en bereden kan worden toeneemt. Hogere grondwaterstanden in het zomerhalfjaar verminderen veenafbraak en daardoor maaiveldddaling.

De veenweidegebieden in Nederland worden gekenmerkt door bodemdaling, veroorzaakt door veenafbraak en inklinking van de bodem. Veengrond bestaat voor een groot deel uit organisch materiaal, dat in aanraking met zuurstof afbreekt en wordt omgezet in CO₂ en water. Veenafbraak is voornamelijk gerelateerd aan relatief lage grondwaterstanden in de zomer. Daarbij wordt de afbraaksnelheid bevorderd door een hogere omgevingstemperatuur. Bij de huidige temperaturen en neerslagpatronen daalt de bodem met 5 tot 12 millimeter per jaar afhankelijk van de drooglegging (Van den Akker *et al.*, 2007a). Door klimaatverandering zal naar verwachting de veenafbraak nog aanzienlijk toenemen, als gevolg van drogere zomers en een hogere omgevingstemperatuur.

Op Kennis Transfer Centrum (KTC) Zegveld werd voor het eerst onderzoek gedaan naar de hydrologische en landbouwkundige effecten van onderwaterdrains (Hoving *et al.*, 2008). Als vervolg op dit onderzoek is in polder Zeevang een veldonderzoek uitgevoerd op zowel proefveldniveau als perceelsniveau (praktijkschaal), waarbij de drains in de lengterichting van het perceel werden gelegd met een maximale lengte van 450 m. De resultaten van het voorgaande onderzoek in Polder Zeevang zijn gerapporteerd in Hoving *et al.* (2011). In Bijlage 1 staat de samenvatting van dit rapport.

De hypothese van het betreffende onderzoek was dat verlaging van de slootpeilen (gehele jaar) tot 60 cm –mv in combinatie met het toepassen van onderwaterdrains in polder Zeevang niet zou leiden tot een toename van de bodemdaling. De landbouwkundige omstandigheden zouden echter aanzienlijk verbeteren, waardoor de hydrologische ingreep winst zou betekenen voor zowel de melkveehouder als de waterbeheerder. De onderzoeksresultaten wezen uit dat de wintergrondwaterstand weliswaar behoorlijk daalde, maar dat de zomergrondwaterstanden onder het niveau daalde van de zomergrondwaterstanden bij het oorspronkelijke polderpeil. Om wel dit niveau te behouden werd aanbevolen om alleen in de winter het slootpeil te verlagen en om in de zomer een slootpeil van maximaal 35 cm –maai veld te hanteren. In polder Zeevang is bij MTS. S. en J. de Boer en M. de Boer-Raes en Y.M. de Boer-Beers te Warder in september 2012 een veldproef aangelegd om het toepassen van een zomer- en winterpeil te beproeven. Het zomerpeil was hierbij 40 cm –maai veld. Het onderzoek is uitgevoerd tot november 2014. De resultaten van het onderzoek zijn in dit rapport beschreven.

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft beleidsregels opgesteld voor het verlenen van peilafwijkingen en waarbij het toepassen van onderwaterdrains verplicht gesteld is. Hierin worden voor veenweidegebieden specifieke eisen gesteld aan de maximale drooglegging. De maximale drooglegging is hierbij in de zomerperiode 40 cm –maai veld en in de winterperiode 60 cm –maai veld (zie paragraaf 2.4). De introductie van deze beleidsregels vormden de directe aanleiding voor het onderzoek.

Het veldonderzoek had als doel het kwantificeren van het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstand en het graslandgebruik bij een winterpeil van 60 cm en zomerpeil van 40 cm –maai veld.

Door het toepassen van onderwaterdrains bij een gemiddelde drooglegging van 60 cm –maai veld in de winter en 40 cm –maai veld in de zomer wordt naar verwachting een vergelijkbare zomergrondwaterstand behaald als in de oorspronkelijke situatie zonder drains met in het gehele jaar

een drooglegging van 40 cm –maaiveld. Hierdoor zullen de nieuwe beleidsregels voor het verlenen van peilafwijkingen (met het voorschrift van onderwaterdrains) niet leiden tot extra bodemdaling.

Het effect van een zomer- en winterpeil op het grondwaterstandsverloop is getoetst tegen het grondwaterstandsverloop bij een vast hoog peil van 40 cm –maaiveld en het grondwaterstandsverloop bij een vast laag peil van 60 cm –maaiveld. Daarbij is een vergelijking gemaakt tussen het wel en niet toepassen onderwaterdrains. Tevens is gekeken naar de effecten op droge stofopbrengst en de stikstofopbrengst van gras. Een verandering van de stikstofopbrengst kan een indicatie zijn voor een veranderde veenafbraak. Door de afbraak van veen komt stikstof vrij wat als meststof wordt benut voor grasgroei.

In het rapport is in het volgende hoofdstuk de werkwijze van het onderzoek beschreven, met een uiteenzetting van de bodemkarakteristiek van de proeflocatie, een nadere beschrijving van de relatie tussen slootpeil en de grondwaterstand, een toelichting van de proefopzet en de waarnemingen die zijn gedaan, een overzicht van de neerslag per maand en de toegepaste statistiek voor de toetsing van de grondwaterstanden en de grasopbrengsten tussen de behandelingen. In hoofdstuk 3 staan de resultaten voor de grondwaterstanden en de grasopbrengsten. Hierbij is inzichtelijk gemaakt hoe de drie peilregimes zich tot elkaar verhouden en wat daarbij het effect is van onderwaterdrains. In het hoofdstuk 4 zijn de resultaten bediscussieerd om de verschillen tussen behandelingen te verklaren. In hoofdstuk 5 is een beschouwing gegeven van wat onderwaterdrains in de praktijk betekenen. Zo zijn door agrarische natuurverenigingen en natuurbeschermingsorganisaties vragen gesteld over het effect van onderwaterdrains op weidevogels. In dit hoofdstuk is de betekenis van onderwaterdrains voor de melkveehouder, voor de maatschappij en voor weidevogels beschreven. Hoewel het onderzoek hier niet op gericht was, is zo goed mogelijk geprobeerd de effecten te benoemen en te beschouwen. In hoofdstuk 6 is de economische betekenis van onderwaterdrains uiteengezet. Het rapport is besloten met conclusies en aanbevelingen, respectievelijk hoofdstuk 7 en 8.

2 Materiaal en methode

2.1 Bodemkarakteristiek proeflocatie

Van het gebied waar de percelen uit het onderzoek deel van uitmaakten is in het kader van een herinrichting in 1995 een detailbodemkaart gemaakt, schaal 1:10.000 (Mulder en Steenberg, 1995). De ligging van de proefpercelen is weergegeven in Figuur 1. Daarbij zijn de nummers van de proefpercelen aangegeven. In juni 2012 is de bodem van de proeflocaties geïnventariseerd aan de hand van boorgaten op basis waarvan het bodemprofiel is beschreven en de grondwaterstand en de doorlatendheid zijn gemeten. In Bijlage 1 staat een uitgebreide beschrijving van de resultaten en het hieruit afgeleide drainageadvies. In deze paragraaf zijn de belangrijkste bevindingen samengevat. De ligging van deze boorlocaties is weergegeven in Figuur 2 (grotere lichtblauwe punten). De overige punten betreft boorgatmetingen die staan beschreven in Mulder en Steenberg (1995).



Figuur 1 Ligging van de proefpercelen (Mulder en Steenberg, 1995).



Figuur 2 Ligging van de boorlocaties (Mulder en Steenberg, 1995).

De proefpercelen liggen op veengronden met een kleidek van ca. 20 cm dikte. Op een diepte van 1,20 – 1,40 m –maaiveld gaat het veen over in ongerijpte klei. De top van de kleiondergrond bestaat uit kalkloze rietklei, hieronder komt kalkrijke klei voor die wordt afgewisseld met zandlaagjes. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) wordt geschat op 0,65 – 0,75 m –maaiveld, terwijl de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) wordt geschat op 0,15 – 0,25 m –maaiveld. Op de detailbodemkaart wordt het bodemtype als waardveengrond gepresenteerd.

De bovenste moerige horizont is sterk verweerd en bestaat uit kleilig veen. De dikte en aard van de verweerde horizonten week niet zichtbaar af ten opzichte van 1995. Uit de profielbeschrijvingen is op te maken dat onder deze humeuze tot humusrijke laag een kalkloze zware kleilaag kan voorkomen. Deze 'grijze' kleilaag, kenmerkend voor waardveengronden, werd echter sporadisch aangetroffen, en waar die aangetroffen werd was de laag 1 á 2 cm dik. Deze kleilaag, en het kleidek in het algemeen, heeft een stagnerende werking hebben op infiltrerend regenwater. Om deze reden werd de GHG geschat binnen de 0,25 m –maaiveld.

Het veen onder de kleilaag tot een diepte van 0,40 – 0,45 m –maaiveld is sterk verweerd. De verweerde laag is kleilig en roestig; plantenresten zijn niet herkenbaar. De beworteling van deze laag

zal moeizaam gaan, aangezien deze horizont sterk gelaagd kan zijn. Ook in deze laag is de verticale doorlatendheid gering. De aanwezigheid van enige heidetakjes en het gelaagde karakter van het veen kan wijzen op een herkomst van veenmosveen. Tussen 0,40 en 0,75 m –maaiveld is het veen minder sterk verweerd. De veensoort kan duidelijk worden afgeleid en bestaat uit zeggeveen. Dieper in het profiel wordt het veen geleidelijk rijker en gaat over naar rietzeggeveen naar rietveen. Vanaf een diepte van 0,65 – 0,75 m (afhankelijk van de locatie) raakt het veen abrupt gereduceerd. Op deze diepte wordt de GLG geschat. Op de overgang tussen het veen en de kleiondergrond komt een 0,05 – 0,10 m dikke baggerlaag voor. De bagger bestaat uit geoxideerd kleiig rietveen en is zwart van kleur. De top van de kleiondergrond ligt op 1,10 – 1,40 m –maaiveld en bestaat uit zware ongerijpte kalkloze rietklei. Het aandeel riet neemt dieper in het profiel af en de klei wordt kalkrijk en minder zwaar van textuur. Tot tenminste 7,80 m –mv. bevindt zich een dik pakket ongerijpte kalkrijke klei. De klei wordt af en toe afgewisseld door dunne, 0,01 – 0,10 cm dikke zandlaagjes die bestaan uit kleiig zeer fijn zeezand. De dikte van het veenpakket is tussen 1995 en 2012 met gemiddeld ruim 13 cm afgenomen, hetgeen neerkomt op een gemiddelde afname van 7,6 mm per jaar (zie Bijlage 2).

De invloed van de bodemkarakteristiek op de proefresultaten is nader beschouwd in paragraaf 4.3.

2.2 Achtergrond toepassing onderwaterdrains

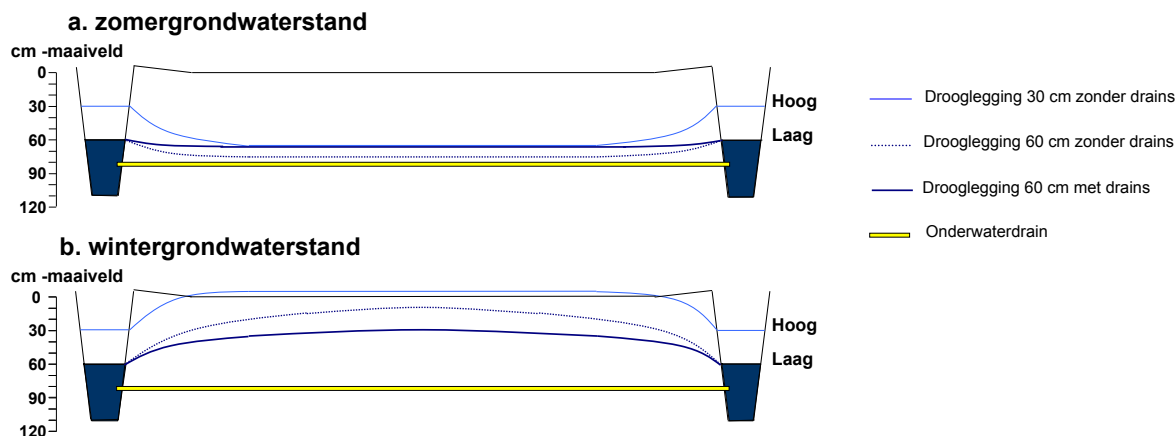
Veenbodems hebben een relatief slechte horizontale doorlatendheid (k-waarde), waardoor hemelwater dat in de bodem infiltreert vertraagd wordt afgevoerd richting de sloot. Dit verhoogt de grondwaterstand bij een neerslagoverschot (neerslag > verdamping). Omgekeerd is de infiltratie van water uit de sloot de bodem in ook beperkt. Dit verlaagt de grondwaterstand bij een neerslagtekort (verdamping > neerslag). De mate van doorlatendheid verschilt per type veengrond.

In het westelijk veenweidegebied worden relatief hoge slootpeilen gehanteerd (20 à 60 cm -maaiveld) om te voorkomen dat bij een neerslagtekort de grondwaterstand te diep wegzakt. De diepte van de zomergrondwaterstand houdt namelijk nauw verband met veenafbraak en maaiveld daling (Van den Akker *et al.*, 2007). Landbouwpercelen in het westelijke veenweidegebied zijn zodoende relatief smal om te voorkomen dat bij een neerslagoverschot water op het maaiveld komt te staan.

Landbouwkundig is een drooglegging van ongeveer 60 cm gewenst om het risico op vernatting te verkleinen. Vernatting beperkt het graslandgebruik en vermindert de productiviteit. Vooral de voederkwaliteit van gras is lager door een slechtere botanische samenstelling (lager aandeel landbouwkundig gewaardeerde grasrassen) en uitgestelde oogsttijdstippen. Aangezien het polderpeil doorgaans hoger ligt (20 à 40 cm – maaiveld) dan het landbouwkundig gewenste peil is onderbemaling vereist om het peilen te kunnen verlagen. Hiervoor werden in het verleden vrij gemakkelijk vergunningen verleend, maar waterschappen worden hier steeds terughoudender in of geven geen vergunningen meer af om het negatieve effect op bodemdaling te beperken.

Een maatregel om de positieve effecten (toename infiltratie) van het verhogen van het slootpeil te bevorderen en de negatieve effecten (afname drainage) te onderdrukken, is het aanbrengen van onderwaterdrains: buisdrainage die minstens 20 cm onder het slootpeil is aangelegd.

Ter illustratie is in Figuur 3 een dwarsdoorsnede van een perceel weergegeven met daarin de wintergrondwaterstand en de zomergrondwaterstand ten opzichte van het slootpeil. Het te verwachten effect van deze maatregel is een sterke nivellering van het grondwaterstandsverloop door het jaar, met de gewenste verhoging in de zomer en verlaging in de winter van de grondwaterstand. In het meest gunstige geval kunnen onderwaterdrains het verhogen van het (zomer)peil, voor het voldoende verhogen van de zomergrondwaterstand, overbodig maken. De vraag is of onderwaterdrains een vergelijkbare daling van de zomergrondwaterstand (en zo mogelijk minder) kunnen realiseren als bij een hoog slootpeil. Bijkomend voordeel van de hogere grondwaterstanden is dat dit in de zomer verdroging tegengaat en daarmee de grasgroei kan bevorderen. Bij een neerslagoverschot kan water via dezelfde drains ook worden afgevoerd, waardoor het land sneller begaanbaar is. Daarbij vermindert de oppervlakkige afvoer van water door greppels. De door onderwaterdrains te verwachten verandering van de waterhuishouding heeft wellicht ook consequenties voor de waterkwaliteit en de hoeveelheid waterberging.



Figuur 3 Dwarsdoorsnede van een perceel en belendende sloten met a) de zomergrondwaterstand en b) de wintergrondwaterstand ten opzichte van de slootpeilen 30 en 60 cm –maaiveld, respectievelijk aangeduid met 'hoog' en 'laag' en het nivellerende effect van onderwaterdrains (bij een slootpeil van 60 cm – maaiveld) op de grondwaterstand; de zomergrondwaterstand wordt verhoogd (tot circa grondwaterstand bij hoog peil) en de wintergrondwaterstand wordt verlaagd.

2.3 Proefopzet

Het onderzoek was primair gericht op de invloed van onderwaterdrains op het grondwaterstandsverloop. Een verandering van de winter- en zomergrondwaterstand geeft respectievelijk informatie over het landbouwkundig gebruik van het grasland en de mate van veenafbraak. Daarbij is de grasproductie bepaald. Het verschil tussen bemeste en onbemeste veldjes (stikstof) geven een indicatie voor de vermindering van de veenafbraak en laat het verschil zien in hoeverre de stikstofbenutting verbetert.

Om het effect van een peilafwijking bij onderwaterdrainage (beleidsregels) te toetsen is een vergelijk gemaakt van zowel jaarrond een slootpeil van 60 cm –mv als jaarrond een slootpeil van 40 cm –mv (positieve en negatieve controle). Als hoofdbehandeling zijn drie peilregimes ingesteld en als subbehandeling is onderscheid gemaakt tussen wel en geen onderwaterdrains. Als tweede subbehandeling is onderscheid gemaakt tussen wel en geen stikstofbemesting met als doel om de stikstoflevering vanuit de bodem te kunnen bepalen als indicator voor de mate van veenafbraak. Het element stikstof (N) is in de vorm van nitraat of ammonium een belangrijke nutriënt voor de groei van gras. Stikstof wordt gegeven in de vorm van meststoffen, maar komt ook vrij door de afbraak van organische stof in de bodem. Veen is organische stof dat in meer of mindere mate verweerd is en afbreekt wanneer het wordt blootgesteld aan zuurstof. De afbraaksnelheid van veen neemt bij hogere temperaturen sterk toe. Tegen het einde van de zomer begin najaar zijn de grondwaterstanden in het algemeen op zijn laagst en is de bodem sterk opgewarmd, zodat dan de veenafbraak zijn hoogtepunt is.

Samengevat zijn de behandelingen als volgt:

Hoofdbehandeling:

1. Jaarrond een slootpeil van 60 cm –mv
2. Winterpeil 60 cm –mv en zomerpeil 40 cm –mv
3. Jaarrond een slootpeil van 40 cm –mv

Subbehandeling 1

1. Onderwaterdrains
2. Geen onderwaterdrains

Subbehandeling 2

1. Geen stikstofbemesting (N0)
2. Praktijkbemesting stikstof (N1).

Het onderzoek is in tweevoud uitgevoerd, op zes praktijkpercelen die qua breedte en vochthuishouding (hoogteligging, begreppeling, doorlatendheid) min of meer vergelijkbaar geacht werden. Per perceel werd de helft gedraineerd om binnen een perceel de gedraineerde en de ongedraineerde situatie te kunnen vergelijken. De drains liggen bij alle behandelingen op een diepte van ca. 70 cm. Een plattegrond van de proeflocatie met daarop aangegeven de proefpercelen staat weergegeven in Figuur 4. In Bijlage 3 staat per proefperceel een plattegrond waarop de drains zijn aangegeven.

De grasopbrengstbepalingen zijn uitgevoerd op twee plaatsen binnen een drainbehandeling met binnen de betreffende plots wederom een herhaling per stikstofbehandeling. Een nadere detaillering van het aantal plots, het aantal veldjes en de afmetingen van de veldjes is als volgt:

- Plots: 3 hoofdbehandelingen x 2 drainbehandelingen x 2 herhalingen = 12 plots
- Veldjes: binnen een plot 2 N-niveaus x 2 herhalingen. In totaal 48 veldjes
- Afmetingen (netto) veldje: 1,5 x 8 m. Totaal inclusief bruto randen ongeveer 10 x 10 m.



Figuur 4 Plattegrond van de proeflocatie, met een aanduiding van de proefpercelen.

2.4 Peilbeheer

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft beleidsregels opgesteld voor het verlenen van peilafwijkingen en waarbij het toepassen van onderwaterdrains verplicht gesteld is. Hierin worden voor veenweidegebieden specifieke eisen gesteld aan de maximale drooglegging. De beleidsregels zijn:

- Bij een peilafwijking die niet is voorzien van een onderwaterdrainage, beperkt het hoogheemraadschap de drooglegging tot maximaal 40 cm onder het gemiddelde maaiveld (zomer- en winterpeil).
- Bij een peilafwijking voorzien van een onderwaterdrainage staat het hoogheemraadschap in de vergunning toe om:
 - het peil in de periode van 15 maart t/m 15 oktober te verlagen naar maximaal 40 cm onder het gemiddelde maaiveld van het betreffende gebied.
 - het peil in de periode 15 oktober t/m 15 maart het peil te verlagen naar maximaal 60 cm onder het gemiddelde maaiveld van het betreffende gebied.

In het onderzoek is het betreffende zomer- en winterpeil conform de beleidsregels vergeleken met een vast 'hoog' peil van 40 cm –maaiveld en een vast 'laag' peil van 60 cm –maaiveld.

In Figuur 5 is de uitvoering van de peilregimes schematisch weergegeven.

	jan.	feb.	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Slootpeil
Vast hoog slootpeil													40 cm -mv
Vast laag slootpeil													60 cm -mv
Zomer- en winterpeil	<div> <div>15 mrt</div> <div>15-okt</div> </div>												40 cm -mv 60 cm -mv

Figuur 5 Schematische weergave uitvoering peilregimes.

2.5 Teelt en bemesting

De bemesting is uitgevoerd conform de voorgaande proef met onderwaterdrains in polder Zeevang (Hoving *et al.*, 2011). De gehanteerde bemestingshoeveelheden voor de drie belangrijkste meststoffen stikstof (N), fosfaat (P_2O_5) en kali (K_2O) staan in Tabel 2. Voor de bemeste velden (N1) werd een stikstofbemestingsniveau gehanteerd van 225 kg N per ha. De onbemeste velden (N0) kregen geen stikstof toegediend. De bemestingshoeveelheden N, P_2O_5 en K_2O staan in Tabel 2.

Tabel 2

Bemestingshoeveelheden N, P_2O_5 en K_2O per snede (kg per ha).

Snede	1	2	3	4	5	totaal
N (kg per ha)	80	50	35	30	30	225
P_2O_5 (kg per ha)	45	30	30	30	25	160
K_2O (kg per ha)	100	100	100	100	100	500

2.6 Waarnemingen

Grondwaterstanden en slootpeilen

Wekelijks werden grondwaterstanden gemeten in speciaal hiervoor geplaatste peilbuizen. Zie voor de plaatsing van de peilbuizen Bijlage 3. De buizen zijn in drie lengteraaen op het perceel geplaatst met een tussenafstand van 25 m. Het aantal peilbuizen varieerde van 30 tot 36 per perceel. Op de gedraineerde gedeelten zijn de buizen in het midden tussen de drains geplaatst. Tijdens de wekelijkse meetronde werden ook de slootpeilen gemeten. Ter bescherming en herkenning van de peilbuizen werden midden boven de peilbuizen tegels geplaatst. Deze tegels zijn voorzien van een ronde uitsparing waardoor de bovenkant van de peilbuis bereikbaar is en de meting met een meetlint kon plaatsvinden.

Gekozen is voor handmatige metingen in plaats van het inzetten van elektronische drukopnemers (divers), om de ruimtelijke variatie voldoende te ondervangen. Met divers wordt de variatie in de tijd goed gemeten, maar deze zijn te kostbaar om op grote schaal in te zetten.

Grasopbrengsten

Op de proefpercelen zijn voor het bepalen van de grasopbrengsten vier proefvakken aangelegd; twee keer één proefvak op beide ongedraineerde gedeelten en twee keer één proefvak op beide gedraineerde gedeelten (zie Bijlage 3). Voor stikstofbemesting zijn twee niveaus gehanteerd om het effect van slootpeil en onderwaterdrains op de stikstoflevering van de bodem te kunnen bepalen. Een verminderde stikstoflevering kan namelijk wijzen op een vermindering van de veenafbraak. De stikstofopname met gras is dan lager en gaat veelal gepaard met een lagere drogestofopbrengst. De opbrengstbepaling vond per proefvak voor beide stikstofniveaus in tweevoud plaats. De grasopbrengst werd per snede bepaald door stroken uit te maaien. Het gras is vers gewogen, gedroogd en teruggewogen om het drogestofgehalte van het gras te bepalen.

Hoogte maaiveld

In het voorjaar van 2013 en 2014 werd de maaiveldhoogten gemeten ter hoogte van de peilbuizen, door de hoogte van de bovenkant van de tegels te meten, die boven de peilbuizen waren geplaatst.

Botanische samenstelling

De proefvakken van de grasopbrengst bepalingen zijn op 14 mei 2013, 22 april 2014 en 3 oktober 2014 botanisch gekarteerd om te zien hoe de botanische samenstelling zich ontwikkelde door de proefbehandelingen peilbeheer, het gebruik van onderwaterdrains en wel of geen stikstofbemesting. De karteringen zijn in dit rapport uitgewerkt, waarbij de verschuivingen tussen grassoorten inzichtelijk is gemaakt. De botanische samenstelling is meegenomen in de beoordeling van de grasopbrengsten.

2.7 Neerslag

De grondwaterpeilen worden bepaald door de neerslag en de gewasverdamping. Bij een neerslagoverschot zijn de peilen relatief hoog en bij een verdampingoverschot relatief laag. De neerslagsommen per maand en per jaar, afkomstig van het KNMI- weerstation Edam, staan in Tabel 3. De neerslagsommen geven een zeer globaal beeld van het neerslag patroon gedurende het jaar. Vooral de maanden juli en augustus in 2013 waren relatief droog, terwijl deze maanden in 2014 relatief nat waren. Daarbij waren de neerslaghoeveelheden in de maanden april en mei van 2013 lager dan in 2014. De maand december van 2012 was relatief nat. Het neerslagpatroon komt tot uiting in de gemeten grondwaterstanden. Om het effect van neerslag op de grondwaterstand goed te analyseren moeten de neerslaggegevens op dagbasis beschouwd worden en moeten ook de verdampingsgegevens in de analyse betrokken worden. Het analyseren van het grondwaterstandverloop in relatie tot het weerbeeld en de bodemkarakteristiek kan worden uitgevoerd met een hydrologisch model zoals SWAP (Kroes en Van Dam, 2003).

Deze rapportage is vooral gericht op het aantonen van verschillen tussen objecten en niet op het verklaren van het grondwaterstandverloop per object. Zodoende hebben we verder niet in detail gebruik gemaakt van de neerslaggegevens.

Tabel 3

Totale neerslag per maand en per jaar (mm) gemeten op het KNMI-weerstation Edam (bron www.knmi.nl).

	2012	2013	2014
Januari	96,4	68,4	84,3
Februari	20,5	49,8	62,7
Maart	24,7	38,7	32,2
April	62,1	28,0	48,2
Mei	39,0	74,1	98,4
Juni	104,3	57,2	28,8
Juli	148,7	26,4	90,4
Augustus	168,4	14,9	163,3
September	56,3	109,1	21,6
Oktober	143,1	157,9	76,6
November	63,3	101,5	43,1
December	151,1	81,9	94,2
Totaal	1077,9	807,9	843,8

2.8 Statistiek

Om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over verschillen in grondwaterstanden en grasopbrengsten tussen de verschillende onderzoeksobjecten zijn de resultaten gemodelleerd en vervolgens statistisch getoetst. Voor de grondwaterstanden is uitgegaan van een cyclisch verloop

binnen een jaar, aangezien gemiddeld de grondwaterstanden in de winter relatief hoog en in de zomer relatief laag zijn. Uitgegaan is van een sinusoïde verloop. Dit is weliswaar een sterke versimpeling van de werkelijkheid, maar maakt het mogelijk om in grote lijn het verschil in grondwaterstandverloop tot uitdrukking te brengen en te toetsen. Voor de grasopbrengsten is uitgegaan van een lineair model. Naast de analyse van de gemodelleerde grondwaterstanden, gericht op het gemiddelde grondwaterstandverloop, zijn de gemeten grondwaterstanden kwalitatief beoordeeld. Dit betrof vooral metingen tijdens relatief droge perioden, waarbij de grondwaterstanden tussen de behandelingen behoorlijk uiteen liepen, maar ook relatief natte perioden waarbij juist de verschillen tussen de behandelingen relatief klein waren. Relatief droge en natte perioden in het groeiseizoen komen in het sinusoïde model voor grondwaterstandverloop niet tot uitdrukking, maar zijn wel cruciaal als het gaat om respectievelijk de consequenties voor maaiveldaling (mate van infiltratie) en landbouwkundig gebruik van grasland (mate van drainage).

Verloop grondwaterstanden

Het verloop van de grondwaterstand $Z(t)$ volgt per buis een sinusoïde met de volgende formule:

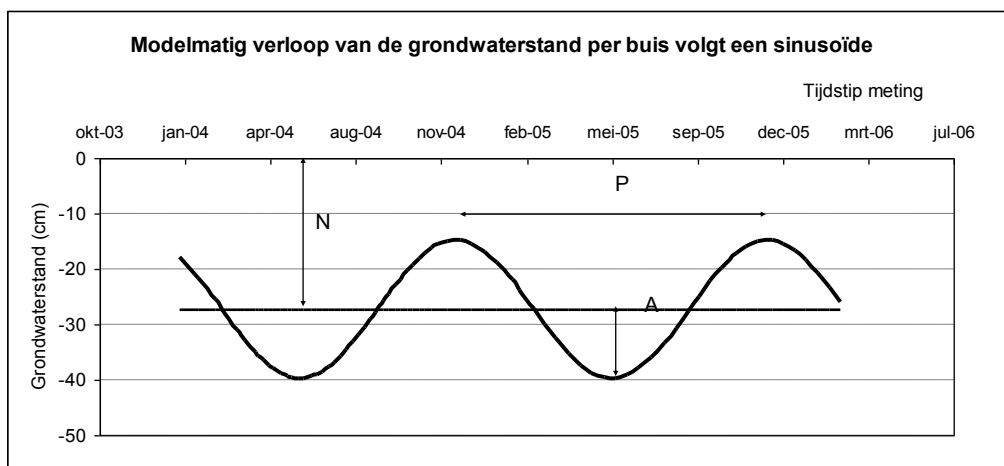
$$Z(t) = \text{Nivo} + \text{Amplitude} * \cos\left(\frac{2\pi(t - \text{Phase})}{365}\right) \quad (1)$$

Het Niveau is de gemiddelde grondwaterstand, de Amplitude de maximale stijging en daling en de Fase is de tijdsperiode tussen twee momenten waarop de grondwaterstand maximaal of minimaal is. Gemiddeld over een lange periode (meerdere decennia) is de Fase ongeveer 365 dagen. Als parameter in de functie is de Fase essentieel, maar heeft waterhuishoudkundig geen betekenis. In enkele gevallen steeg het grondwater tot aan het maaiveld (plasvorming), daarom is de uiteindelijke formule voor de grondwaterstand $Z^+(t)$ als volgt:

$$Z^+(t) = Z(t) I_{Z(t) < 0} \quad (2)$$

De indicatorfunctie $I_{Z(t) < 0}$ zorgt ervoor dat de grondwaterstand altijd kleiner of gelijk aan 0 is.

Ter illustratie staat in Figuur 6 een modelmatige weergave van het verloop van de grondwaterstand per peilbuis volgens een sinusoïde model met daarin aangegeven het Nivo (N), de Amplitude (A) en de Fase (P).



Figuur 6 Modelmatig verloop van de grondwaterstand per peilbuis volgens een sinusoïde model met N) het niveau van de gemiddelde grondwaterstand, A) de amplitude; de maximale stijging en daling van de grondwaterstand en P) de fase; de periode tussen de tijdstippen waarop de grondwaterstand maximaal of minimaal is.

De analyse is in twee fasen uitgevoerd. In de eerste fase zijn de parameters Niveau, Amplitude en Fase per buis geschat met FITNONLINEAR in Genstat (Genstat 6. Committee, 2002).

Als maat voor het passen van het model bij de data is het percentage van de variantie in de grondwaterstand data bepaald welke het model verklaart (%VAF).

$$\% \text{ VAF} = (1 - \sigma_{\text{model}}^2 / \sigma_{\text{totaal}}^2) \times 100 \quad (3)$$

Voor een visuele indruk van het passen van de sinuscurve bij het verloop van de grondwaterstandsmetingen zijn de metingen en gefitte curve per perceel tegen de tijd geplot.

Verschillen tussen de gemiddelde grondwaterstand voor drainage (buis) en geen drainage (blanco) zijn per perceel onderzocht door de schattingen voor amplitude, niveau en phase van de peilbuizen op het perceel te analyseren onder het ANOVA model:

$$\text{Response} = \text{constant} + \text{drainage effect} + \text{raai binnen drainage effect} + \text{residu} \quad (4)$$

Daarbij betreffen drainage- en raai effecten enkel de verschillen voor het desbetreffende perceel.

Verschillen tussen grondwaterstandgemiddelden voor de peilregimes, voor de drainage behandelingen en interactie tussen de peilregimes en drainage behandeling zijn onderzocht door de schattingen voor amplitude, niveau en phase van alle 216 peil buizen te analyseren onder het mixed model:

$$\begin{aligned} \text{Response} = & \text{constant} + \text{peilbeheer effect} + \text{drainage effect} + \text{interactie} \\ & + \text{perceel effect} + \text{plot binnen perceel effect} + \text{raai binnen plot effect} + \text{residu} \end{aligned} \quad (5)$$

Hierin zijn de eerste 3 termen in het model fixed en staan deze voor de corresponderende fixed effecten. Naast het random residu effect zijn voor de beschrijving van correlaties tussen de grondwaterstandsmetingen in het model additionele random effecten opgenomen voor verschillen tussen percelen, verschillen tussen plots binnen percelen en verschillen tussen raaien binnen plots; daarbij wordt verondersteld dat deze random effecten onderling onafhankelijk normaal verdeeld zijn met gemiddelde 0 en varianties (variantie componenten) gelijk aan respectievelijk $\sigma_{\text{perceel}}^2$, $\sigma_{\text{plot binnen perceel}}^2$, $\sigma_{\text{raai binnen plot}}^2$ en σ_{residu}^2 .

Schattingen voor de variantie componenten en de vaste effecten zijn verkregen met de REML (residual maximum likelihood) procedure in GenStat. Vaste effecten zijn getoetst met de F-toets voor de F-toetsingsgrootte voor de Wald toets. Vanwege het beperkte aantal van twee percelen per peilregime behandeling en slechts één plot per perceel per drainage behandeling is het aantal vrijheidsgraden df2 van de F-verdelingen bij de toetsing van de vaste effecten gering en kunnen slechts niet al te kleine effecten met een redelijke mate van waarschijnlijkheid significant worden bevonden.

Predicties voor de gemiddelden van de verschillende combinaties van slootpeilbeheer en drainage en standard errors zijn berekend, alsmede benaderende LSD (Least Significant Difference) waarden voor paarsgewijze verschillen tussen twee gemiddelden bij toetsing met $\alpha = 0.05$.

Grasopbrengst

Met behulp van een REML-model (Genstat 6. Committee, 2002) zijn de drogestofopbrengst en de stikstofopbrengst op jaarbasis geanalyseerd. Het model is gecorrigeerd voor random invloeden van drainage, stikstofniveau, slootpeil en jaarafhankelijke effecten. In het fixed model zijn de behandelingseffecten getoetst (inclusief de interactie met de locatie). Het model voor zowel drogestof- als stikstofopbrengst was als volgt:

$$Y = \mu_{ij} + \varepsilon_m + \varepsilon_{im} + \varepsilon_{lm} + \varepsilon_{imn} + \varepsilon_{ilm} + \varepsilon_{imnl}$$

Met:

Y : responsvariabele, in dit geval drogestof- of stikstofopbrengst in kg/ha

μ_{ij} : gemiddelde waarde bij hoofdbehandeling wel of geen drains i en subbehandeling

stikstofbemesting j

$\varepsilon_{m,im,lm,imn,ilm,imnl}$: Randomeffecten van respectievelijk perceel, plot binnen perceel, blok binnen plot binnen perceel, veldje binnen blok binnen plot binnen perceel en alle interactietermen daarvan met kalenderjaar. Voor alle randomeffecten geldt dat de effecten een normale verdeling volgen met een gemiddelde van 0 en een spreiding σ : $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

3 Resultaten

3.1 Slooppeil en drooglegging percelen

Voor de drie peilregimes staan in Tabel 4 per drainbehandeling per proefperceel de hoogte van het maaiveld, het gemiddelde slooppeil en de drooglegging. Voor het bepalen van de gemiddelde drooglegging per perceel per behandeling is het verschil bepaald tussen het gemiddelde slooppeil (cm-NAP) en het maaiveld van de proefobjecten, te weten de bovenkant van de peilbuizen (cm-NAP). Voor de behandelingen met een zomer- en winterpeil is onderscheid gemaakt tussen de drooglegging in de periode 18 maart – 18 oktober en de drooglegging in de periode 18 oktober – 18 maart.

Tabel 4

Maaiveldhoogte, slooppeil (-NAP) en drooglegging (slooppeil – maaiveldhoogte) per proefperceel per drainbehandeling gemiddeld over de gehele proefperiode (september 2012 – oktober 2014).

Hoofdbehandeling	Geen drains			Onderwaterdrains		
	Maaiveld	Slooppeil	Drooglegging	Maaiveld	Slooppeil	Drooglegging
Vast hoog peil						
21	-210	-240	30	-211	-240	29
22	-206	-240	34	-210	-240	30
Zomerpeil (18 mrt. - 18 okt.)						
9.1	-208	-245	37	-210	-245	35
9.2	-212	-244	32	-201	-245	44
Winterpeil (18 okt. - 18 mrt.)						
9.1	-208	-260	52	-210	-260	50
9.2	-212	-260	48	-201	-260	59
Vast laag peil						
12	-211	-261	50	-205	-261	56
13	-208	-261	53	-211	-261	50

Door variatie in maaiveldhoogte varieerde zowel de drooglegging tussen percelen binnen de peilregimes als de drooglegging binnen een perceel tussen het ongedraineerde en het gedraineerde deel. Het opvallendst zijn de verschillen voor de percelen 9.1 en 9.2 van zomer- en winterpeil. De gemiddelde drooglegging van het gedraineerde deel van perceel 9.2 is 9 cm groter dan van het gedraineerde deel van perceel 9.1 (zomer- en winterpeil). Binnen perceel 9.2 is het verschil tussen het ongedraineerde en het gedraineerde deel voor het zomer- en winterpeil respectievelijk 12 en 11 cm.

3.2 Voorspellende waarde modellen

De grondwaterstanden zijn met een sinuscurve gekarakteriseerd. Dit is weliswaar op een relatief grof detailniveau, maar maakte het wel mogelijk om de behandelingen te onderscheiden en te toetsen. Om te beoordelen in hoeverre de sinusoidale curves het werkelijke grondwaterstandsverloop goed benaderd heeft is het percentage variantie berekend voor de gefitte grondwaterstanden ter grootte van het minimum (laagste grondwaterstand), het maximum (hoogste grondwaterstand), de mediaan, het eerste kwartiel en het derde kwartiel. In Tabel 5 staat de berekende percentielpunten voor de verdeling van het percentage verklaarde variantie per perceel.

Tabel 5

Percentage verklaarde variantie van de gefitte grondwaterstanden (sinusoïde curve) ter grootte van het minimum, het maximum, de mediaan, het eerste kwartiel en het derde kwartiel.

Behandeling	Perceel	Aantal peilbuizen	Minimum	25%	Mediaan	75%	Maximum
Vast hoog peil	12	36	46	52	54	60	65
	13	36	38	47	54	61	66
Zomer- en winterpeil	9.1	36	17	28	37	59	68
	9.2	36	10	18	29	59	65
Vast laag peil	21	33	45	53	57	59	74
	22	39	39	50	54	57	64

De berekende percentiel punten laten zien dat het percentage verklaarde variantie zeer gering is voor percelen 9.1 en 9.2 met zomer- en winterpeil voor de grondwaterstanden ter grootte van het minimum, het eerste kwartiel en de mediaan. Van beide andere peilregimes was van deze grondwaterstanden het percentage verklaarde variantie hoger. Van de grondwaterstanden ter grootte van het derde kwartiel en van het maximum was het percentage verklaarde variantie beduidend hoger. Rond dag 600 (zomer 2013) werden relatief lage grondwaterstanden gemeten, welke niet opgepikt werden door de gefitte sinusoïde curves. Oftewel de grondwaterstanden in de winter variëren minder dan de zomergrondwaterstanden en worden beter gefit. Overigens varieerde per peilbuis het aantal waarnemingen van 59 tot 91 metingen. Dit kan invloed hebben gehad op de kwaliteit van de gefitte curves.

De gefitte sinusoïde curves met een percentage verklaarde variantie van ongeveer 60 percent geven een redelijke beschrijving van de grondwaterstandsmetingen in de tijd. Voor peilbuizen waarvoor de curve slechts tussen de 20-40 procent van de variatie verklaart, passen de curves minder goed bij de gemeten grondwaterstanden.

3.3 Analyse modelparameters grondwaterstanden

Kenmerkend voor de sinusoïde curve zijn de parameters niveau (N), amplitude (A) en fase (P). Verschillen tussen grondwaterstandgemiddelden voor de peilregimes, voor de drainage behandelingen en interactie tussen de peilregimes en drainage behandeling zijn onderzocht door de schattingen voor niveau, amplitude en fase van alle 216 peilbuizen te analyseren. In Tabel 6 staan de schattingen inclusief LSD-waarden voor de betreffende parameters per peilregimes en per drainbehandeling (wel of geen onderwaterdrains). Verschillen tussen de drainbehandelingen en de drie peilbehandelingen zijn significant wanneer het verschil in waarden voor A, N of P groter is dan de betreffende LSD waarden.

Tabel 6

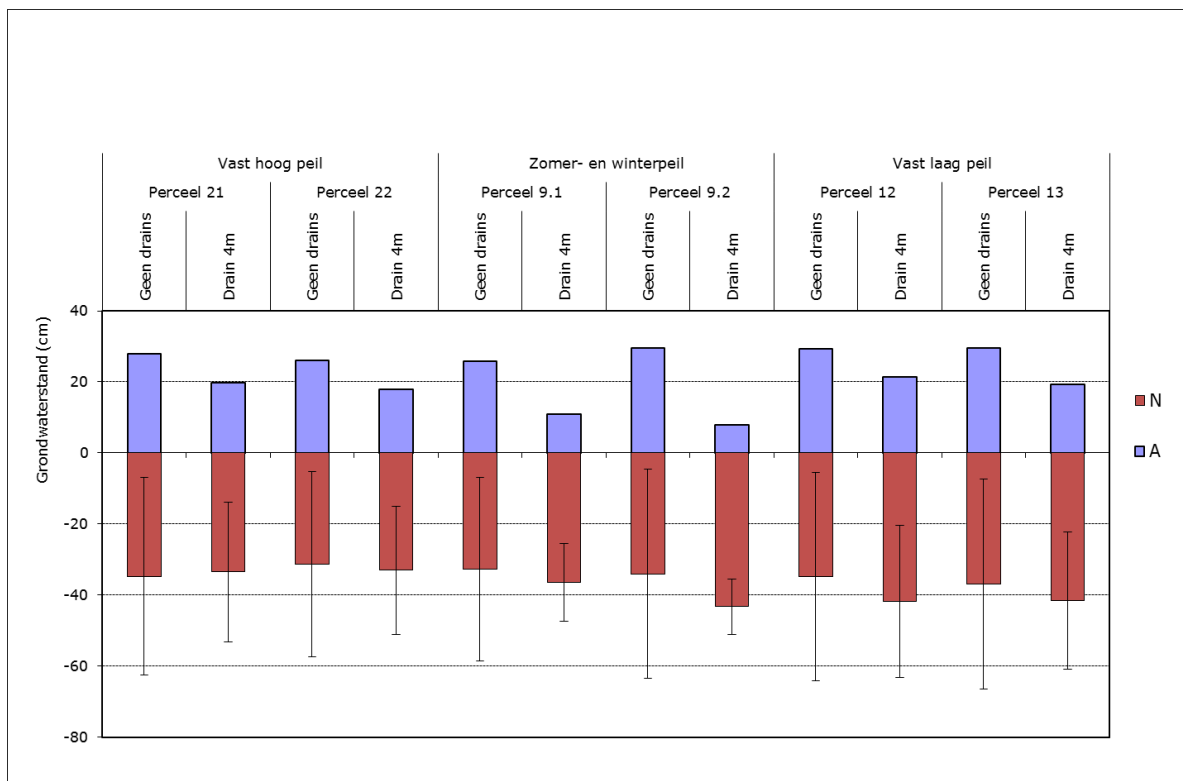
Schattingen parameters amplitude (A), niveau (N) en fase (P) per peilregime en per drainbehandeling (wel en geen onderwaterdrains) inclusief LSD-waarden ($P < 0.05$).

		Eenheid	Vast laag peil	Zomer- en winterpeil	Vast hoog peil
A	Geen drains	cm	29.44	27.67	27.01
	Drains 4m	cm	20.44	9.36	18.84
	Maximale LSD = 4.12				
N	Geen drains	cm –maaiveld	35.85	33.42	33.10
	Drains 4m	cm –maaiveld	41.71	39.90	33.29
	Maximale LSD = 7.494				
P	Geen drains	dag	375.9	374.3	369.6
	Drains 4m	dag	369.5	357.7	365.5
	Maximale LSD = 10.044				

De grondwaterfluctuatie, geschat met de parameter amplitude, is significant lager bij de toepassing van onderwaterdrains ten opzichte van de ongedraineerde situatie, ongeacht het peilregime. Echter, bij toepassing van drains is de fluctuatie bij zomer- en winterpeil significant kleiner dan bij de vaste peilen. Het gemiddelde niveau van de grondwaterstand is voor de gedraineerde situatie significant lager bij een vast laag peil ten opzichte van een vast hoog peil. Voor wat betreft de fase valt vooral de korte fase bij zomer- en winterpeil in combinatie met onderwaterdrains op. Deze is significant korter dan de niet gedraineerde situaties, ongeacht het peilregime en de gedraineerde situatie bij een vast laag peil.

In Bijlage 4 staan de schattingen van de parameters en de P-waarden van de statistische toetsing (ANOVA) per perceel. Voor de parameters amplitude en fase is voor alle percelen sprake van een significant verschil tussen wel en geen drains. Voor niveau is dat eveneens het geval voor alle percelen, uitgezonderd perceel 22.

Om nader te analyseren hoe de significante verschillen voor amplitude en niveau tussen de gedraineerde en ongedraineerde situatie in de grondwaterstanden tot uiting komen is de geschatte gemiddelde grondwaterstand (N) en de geschatte gemiddelde grondwaterfluctuatie (A) per perceel per drainbehandeling weergegeven in Figuur 7. Daarbij is met variatiebalkjes de geschatte gemiddelde afwijking weergegeven. De hoogste waarden betreffen de wintergrondwaterstanden en de laagste waarden betreffen de zomergrondwaterstanden (cm –maaiveld). Per perceel is gecorrigeerd voor droogleggingsverschillen en is de maaiveldhoogte van de ongedraineerde situatie als referentie gekozen.



Figuur 7 Geschatte gemiddelde grondwaterstand (N) en de geschatte gemiddelde grondwaterfluctuatie (A) per perceel per drainbehandeling. De maximale en minimale gemeten grondwaterstanden per perceel per behandeling zijn met variatie balkjes aangegeven ten opzichte van het gemiddelde niveau (cm –maaiveld).

Vast hoog peil

Onderwaterdrains verlaagden de variatie (A) in grondwaterstand significant ten opzichte van de ongedraineerde situatie. Op perceel 21 kwam dit tot uitdrukking in zowel een lagere wintergrondwaterstand als een hoger zomergrondwaterstand. Op perceel 22 was dit beeld vergelijkbaar, maar was het verschil ten opzichte van de ongedraineerde situatie in de winter groter en het verschil in de zomer kleiner.

Zomer- en winterpeil

Onderwaterdrains verlaagden de variatie (A) in grondwaterstand significant ten opzichte van de ongedraineerde situatie. Het effect was significant groter dan bij een vast hoog en een vast laag slootpeil (Tabel 6). Op beide percelen werd zowel de wintergrondwaterstand verlaagd als de zomergrondwaterstand verhoogd. Op perceel 9.2 was het effect van de drains groter dan op perceel 9.1.

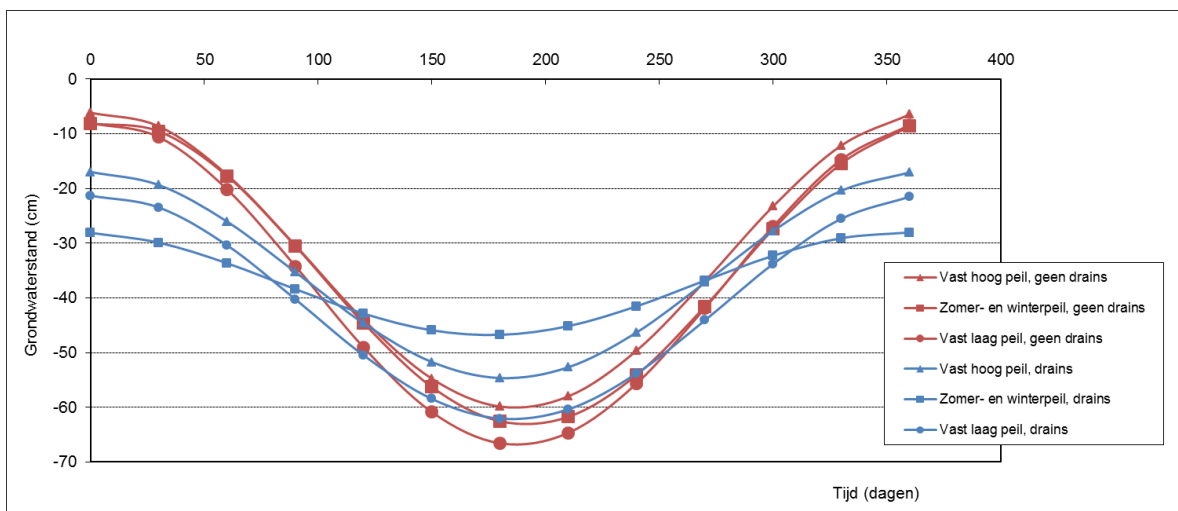
Vast laag peil

Onderwaterdrains verlaagden de variatie (A) in grondwaterstand significant ten opzichte van de ongedraineerde situatie. Op beide percelen werd door toepassing van onderwaterdrains zowel de wintergrondwaterstand verlaagd als de zomergrondwaterstand verhoogd. Het effect op de verlaging van de wintergrondwaterstand was groter dan het effect op de verhoging van de zomergrondwaterstand.

3.4 Vergelijking gemodelleerde grondwaterstanden

Onderwaterdrains leiden tot een significant vlakker verloop van de grondwaterstand, ongeacht het peilregime (zie vorige paragrafen). Echter per peilregime, maar ook per perceel is er of meer verschil in wintergrondwaterstanden (extra drainerend effect) of meer verschil in zomergrondwaterstanden (extra infiltrerend effect) of is het verschil in winter- en zomergrondwaterstanden even groot (zowel extra drainerend als extra infiltrerend effect). Oftewel, beoordeeld moet worden hoe het grondwaterstandsverloop bij onderwaterdrains gepositioneerd is ten opzichte van de ongedraineerde situatie.

De gemodelleerde grondwaterstanden zijn in Figuur 7 weergegeven gemiddeld per slootpeilregime met en zonder onderwaterdrains. In Bijlage 5 zijn de gemodelleerde grondwaterstanden per peilregime per perceel weergegeven. Het verloop van de curves en de onderlinge positie (afstand tot het maaiveld) geeft informatie over het effect van het slootpeilregime op de grondwaterstand en het effect van onderwaterdrains ten opzichte van de ongedraineerde situatie. Aangezien de drooglegging invloed heeft op het grondwaterstandsverloop is de onderlinge positie van de curves gecorrigeerd voor verschil in maaiveldhoogte tussen de slootpeilregimes en de gedraineerde en ongedraineerde situatie (Tabel 4).



Figuur 7 Gemodelleerde grondwaterstanden gemiddeld per slootpeilregime met en zonder onderwaterdrains, drainafstand 4 m (cm -maaiveld).

Opvalt dat het grondwaterstandsverloop in de ongedraineerde situatie (rode curves) relatief weinig verschilde tussen de slootpeilregimes. De wintergrondwaterstanden waren nagenoeg gelijk en de zomergrondwaterstanden verschilden enigszins; het verschil tussen vast hoog peil en zomer- en winterpeil bedroeg slechts 3 cm en het verschil tussen vast hoog peil en vast laag peil bedroeg 7 cm. Het verschil tussen de ongedraineerde en de gedraineerde situatie was echter wel aanzienlijk met grote verschillen tussen de slootpeilregimes. Daarbij hadden de drains bij zomer- en winterpeil de grootste invloed op het grondwaterstandsverloop. Volgens de statistische toetsing was de variatie in grondwaterstanden (A) bij zomer- en winterpeil significant kleiner dan de variatie in

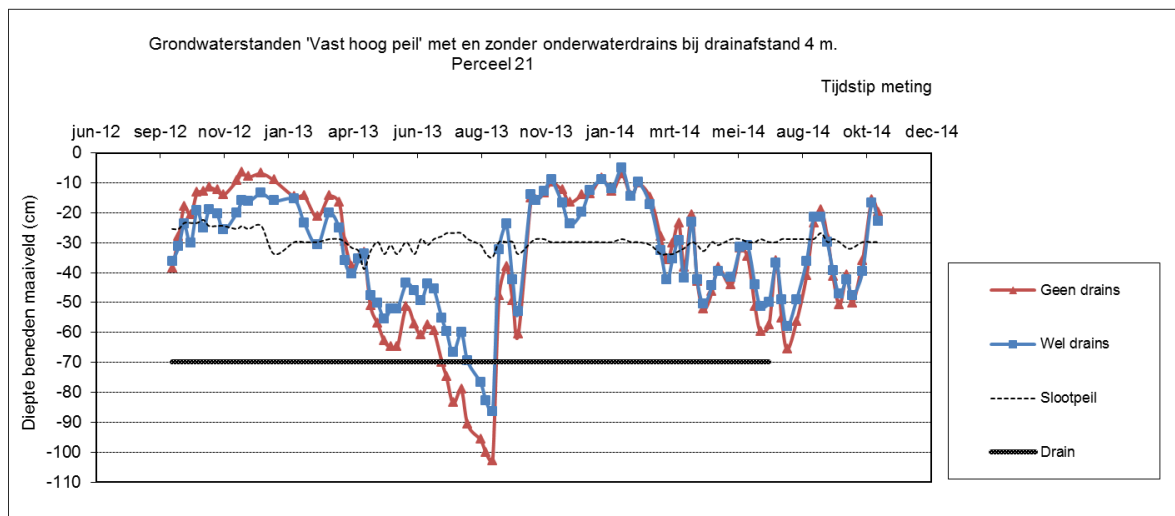
grondwaterstanden bij beide vaste peilregimes en dat komt in de figuur duidelijk tot uitdrukking in een vlakker verloop. Zowel het drainerende effect (verlaging wintergrondwaterstand) als het infiltrerende effect (verhoging zomergrondwaterstand) was aanzienlijk. Het verschil in variatie in grondwaterstanden bij beide vaste peilen was niet significant. De grondwaterstanden bij vast laag peil lagen 4 cm lager dan die bij vast hoog peil en daarbij zakte de zomergrondwaterstand bij vast laag peil 3 cm dieper uit. Ook de vaste peilregimes hadden zowel een drainerend als infiltrerend effect; bij vast laag peil was het drainerende effect relatief groter en bij vast laag peil was het infiltrerende effect relatief groter.

3.5 Vergelijking gemeten grondwaterstanden

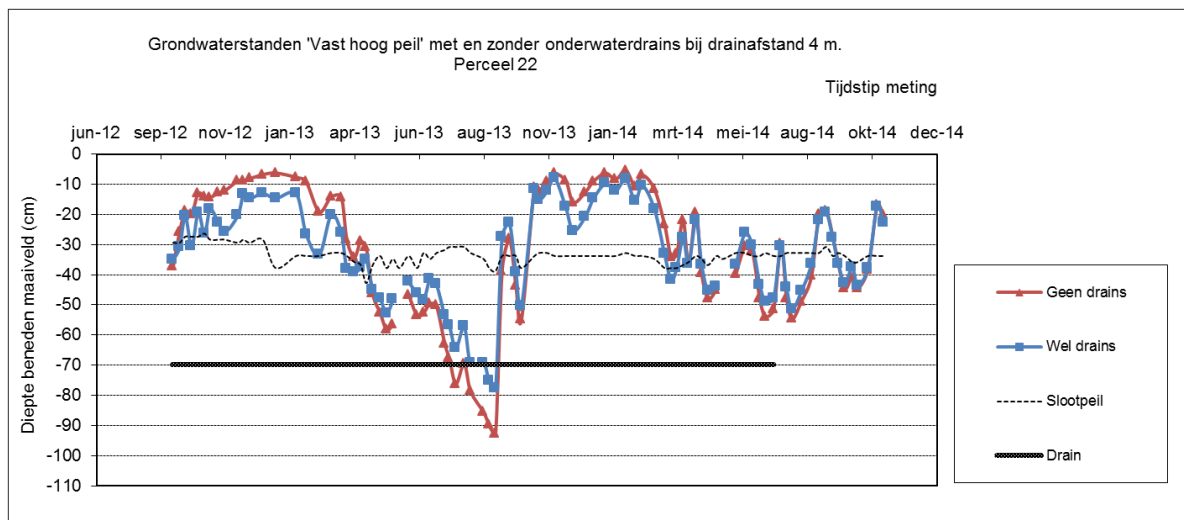
De gefitte sinusoïde curves vergemakkelijken de beoordeling van de behandelingseffecten peilregime en drainage op hoofdlijnen, echter ook de gemeten grondwaterstand moet in de analyse betrokken worden. Het grondwaterstandsverloop kan tussen weerjaren aanzienlijk verschillen en daardoor moet mogelijk het beeld van de behandelingseffecten genuanceerd worden. Zo werd 2013 gekenmerkt door een relatief droge periode in de zomer waardoor het werkelijke verschil in de laagste zomergronden groter was dan op basis van de modellering werd geschat. In 2014 lagen de grondwaterstanden van de gedraineerde en ongedraineerde situatie dicht bij elkaar dan in 2013. Het onderscheid in het grondwaterstandsverloop tussen wel en geen drains kwam vooral tot uiting in de winter van 2012-2013 en in de van zomer 2013 waarin een fors neerslagtekort optrad.

In Figuur 8 tot en met 13 zijn per perceel de werkelijke grondwaterstanden voor de gedraineerde en ongedraineerde situatie en het slootpeil weergegeven ten opzichte van de gemeten maaiveldhoogte van de ongedraineerde situatie.

Vast hoog peil



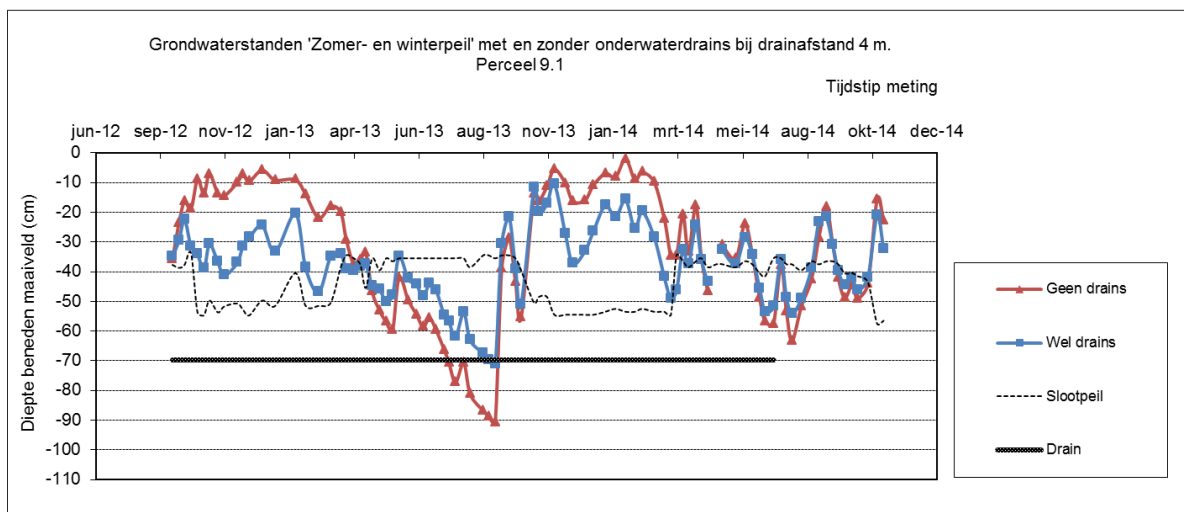
Figuur 8 *Werkelijke grondwaterstanden perceel 21 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).*



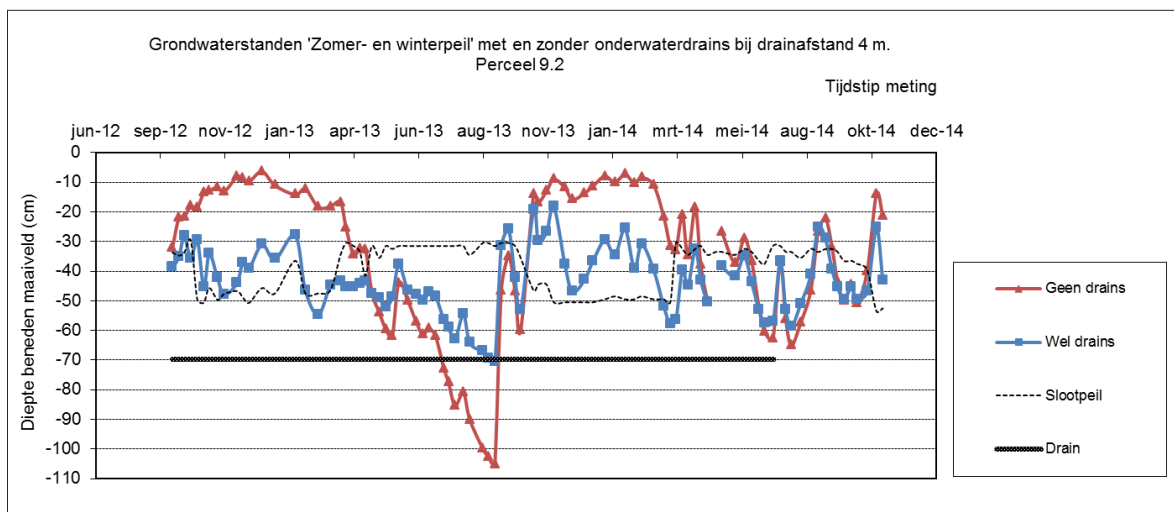
Figuur 9 Werkelijke grondwaterstanden perceel 22 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).

Volgens de gemeten grondwaterstanden hadden onderwaterdrains op beide percelen zowel een drainerend als een infiltrerend effect, waarbij op perceel 21 het infiltrerende effect groter was en op perceel 22 het drainerende effect groter was. Dit beeld is overeenkomstig met de gefitte sinusoïde curves (zie Bijlage 5).

Zomer- en winterpeil



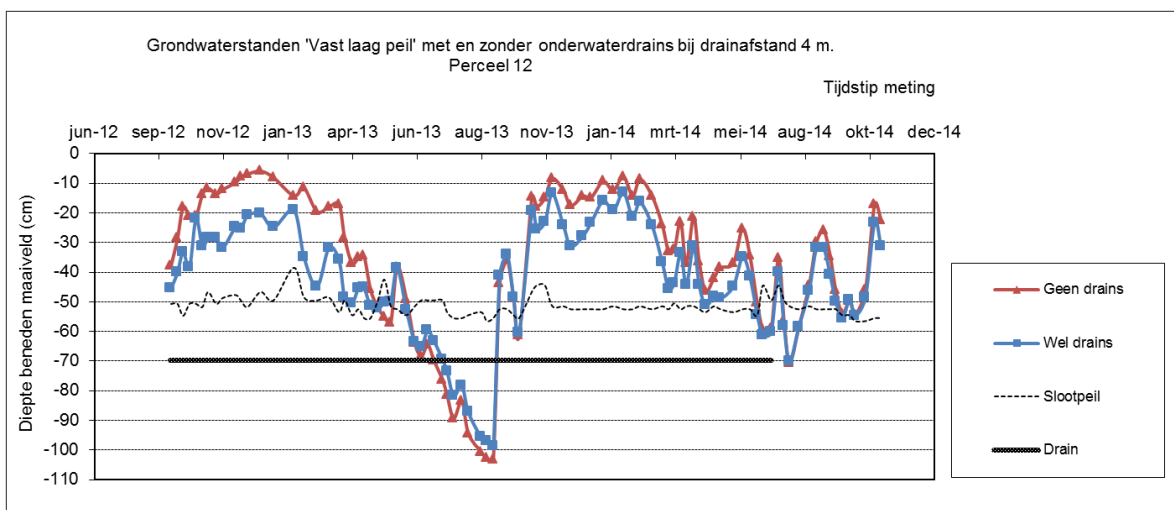
Figuur 10 Werkelijke grondwaterstanden perceel 9.1 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).



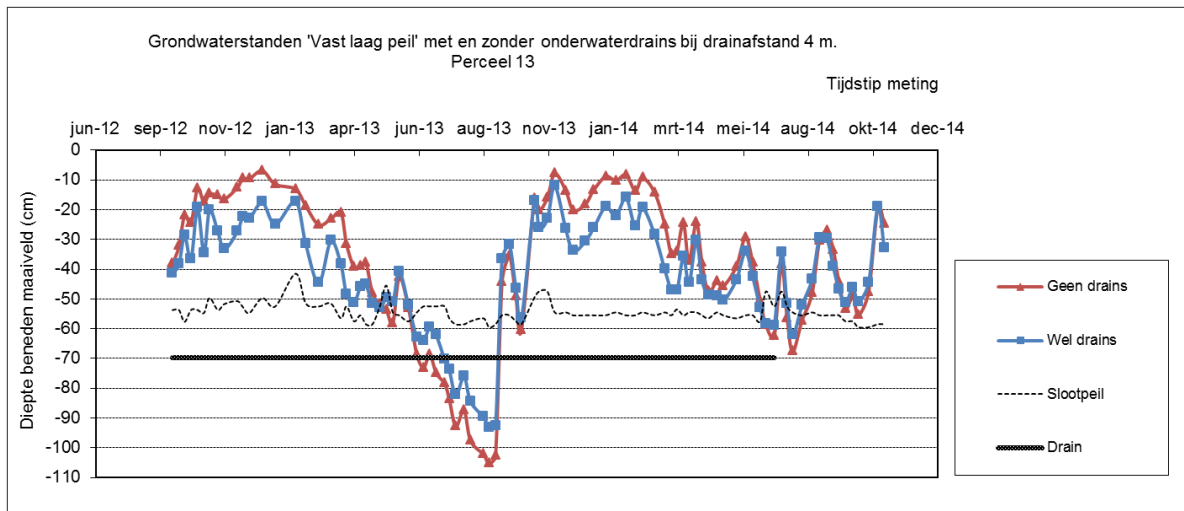
Figuur 11 Werkelijke grondwaterstanden perceel 9.2 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).

Volgens de statistische analyse hadden onderwaterdrains bij een zomer- en winterpeil een significant vlakker grondwaterstandverloop dan onderwaterdrains bij de vaste peilen. Bij perceel 9.1 kwam dit vooral tot uiting in lagere wintergrondwaterstanden en bij perceel 9.2 kwam dit vooral tot uiting in hogere zomergrondwaterstanden. Het verschil in de diepste zomergrondwaterstand tussen wel en geen drains was op perceel 9.1 16 cm en op perceel 9.2 43 cm. Het grotere verschil op perceel 9.2 ten opzichte van perceel 9.1 was enerzijds het gevolg van het dieper wegzakken van de grondwaterstand in de ongedraineerde situatie (-14 cm) en anderzijds het gevolg van de grotere infiltratie van de drains (+13 cm). Het effect van onderwaterdrains op de grondwaterstanden was dus zeer verschillend tussen beide percelen. In het hoofdstuk 4 Discussie wordt dit verschil nader beschouwd.

Vast laag peil



Figuur 12 Werkelijke grondwaterstanden perceel 12 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).



Figuur 13 Werkelijke grondwaterstanden perceel 13 zonder drainage en met drainage (drainafstand 4 m) en het slootpeil weergegeven ten opzichte van het maaiveld van de ongedraineerde situatie (cm -maaiveld).

Volgens de gefitte curves hadden onderwaterdrains op perceel 12 zowel een drainerend als een infiltrerend effect en hadden onderwaterdrains op perceel 13 vooral een drainerend effect. Daarmee was evenals bij zomer- en winterpeil het effect van slootpeil en onderwaterdrains voor beide percelen verschillend. In hoofdstuk 4 Discussie worden de verschillen nader beschouwd.

3.6 Grasopbrengsten

In de volgende paragrafen worden de analyses van respectievelijk de droge stof- en stikstofopbrengst beschreven. Op een aantal veldjes heeft een verstoring plaats gevonden door weidend vee (door de afrastering gebroken). De droge stof en de stikstofbepalingen van deze veldjes konden niet meegenomen worden in de analyse en werden als missende waarneming beschouwd. Evenmin was bekend of de verstoringen door vee nog effect hadden op de opbrengsten van volgende sneden. De missende waarnemingen zijn door middel van de statistische analyse ingeschat. Door de vaste verdeling van stikstofbehandelingen over de opbrengstveldjes zijn de opbrengsten per drainage plot voor wel en geen stikstofbemesting getotaliseerd over de twee veldjes. De analyse richtte zich op de hoofdeffecten en de twee factorinteracties. De drie factorinteracties zijn buiten beschouwing gebleven omdat die niet significant bleken.

3.6.1 Droge stofopbrengst

De droge stofopbrengsten volgens de statistische analyse staan in Tabel 7 per jaar, per snede per drainbehandeling en per stikstofbehandeling. De gemeten droge stofopbrengsten gemiddeld per perceel staan in Bijlage 6. Hierbij is aangegeven welke proefveldjes verstoord zijn geweest.

Tabel 7

Droge stofopbrengsten inclusief statistische schatting voor missende waarnemingen per jaar, per behandeling en per snede (ton ds.ha⁻¹).

	2013					2014				
	1	2	3	4	Totaal	1	2	3	4	Totaal
Jaar	4.4	2.0	1.8	1.8	10.0	4.1	2.3	2.4	1.6	10.4
Vast hoog peil	4.5	2.0	1.8	1.6	9.9	3.7	2.1	2.4	1.4	9.6
Dynamisch peil	4.5	2.0	1.9	1.9	10.3	4.3	2.4	2.1	1.7	10.5
Vast laag peil	4.2	1.9	1.7	1.9	9.7	4.2	2.5	2.5	1.8	11.0
Geen drains	4.2	2.0	2.0	1.9	10.1	4.0	2.2	2.4	1.6	10.2
Drains	4.5	2.0	1.6	1.7	9.9	4.1	2.5	2.4	1.6	10.6
N0	3.5	1.5	1.5	1.6	8.0	3.5	2.1	2.0	1.6	9.2
N1	5.3	2.5	2.1	2.0	12.0	4.7	2.6	2.7	1.7	11.6

De verschillen in tussen de jaren en tussen de behandelingen wordt verklaard aan de hand van de statistische analyse en de weergave van de resultaten in Figuur 14.

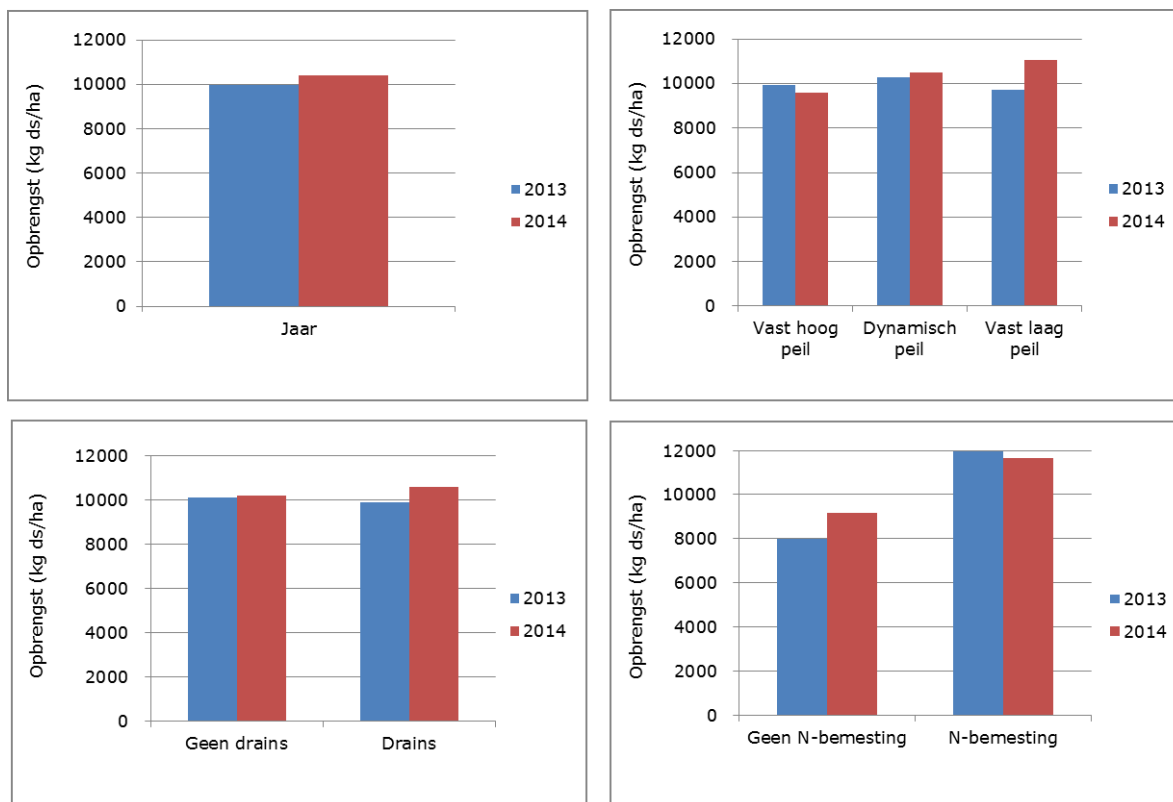
De berekende P-waarden van de F-toetsen van behandelingseffecten voor de droge stofopbrengsten staan in Tabel 8 per snede en de totale jaaropbrengst.

Tabel 8

Berekende P-waarden van de F-toetsen van effecten op de droge stofopbrengst in 2013 en 2014 voor een ANOVA model met hoofdeffecten en 2 factor interacties. Significante verschillen zijn onderstreept.

	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal
Peilstrategie	0,665	0,233	0,432	0,131	0,332
Drainage	0,187	0,292	0,138	0,291	0,796
Peilstrategie x Drainage	0,813	0,692	0,500	0,208	0,585
N-bemesting	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>
Peilstrategie x N-bemesting	0,331	0,107	0,279	0,127	0,581
Drainage x N-bemesting	0,474	0,268	0,609	0,222	0,850
Jaar	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>0,012</u>	<u>0,012</u>
Peilstrategie x Jaar	<u>0,001</u>	<u>0,006</u>	0,052	0,608	<u>0,001</u>
Drainage x Jaar	0,097	<u>0,043</u>	<u>0,019</u>	0,139	<u>0,046</u>
N-bemesting x Jaar	<u>0,001</u>	<u>>0,001</u>	0,562	<u>0,004</u>	<u>>0,001</u>

Significante hoofdeffecten waren beperkt tot Stikstofbemesting en Jaar, voor alle sneden en de totale jaaropbrengst. Significante interactie-effecten waren er voor Peilstrategie x Jaar, Drainage x jaar en N-bemesting x Jaar. Het hoofdeffect voor Jaar en de drie interactie-effecten voor de opbrengsten op jaarbasis zijn weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 Droge stofopbrengst per jaar (2013 en 2014) en uitgesplitst per jaar voor de behandelingen peilregime, drains en stikstofbemesting ($\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1}$).

De figuur laat zien dat gemiddeld de jaaropbrengst in het nattere jaar 2014 hoger was dan in het drogere 2013. Opvallend was het verschil in droge stofopbrengsten bij een vast laag peil. Een vast laag slootpeil (met en zonder onderwaterdrains) gaf in 2013 een relatief lagere droge stofopbrengst door meer droogteschade en in 2014 een relatief hoge droge stofopbrengst door minder natschade. Daarbij gaven onderwaterdrains in 2013 lagere droge stofopbrengsten door minder stikstoflevering en in 2014 hogere grasopbrengsten door minder natschade.

3.6.2 Stikstofopbrengst

De stikstofopbrengsten volgens de statistische analyse staan in Tabel 9 per jaar, per snede per drainbehandeling en per stikstofbehandeling. De werkelijke stikstofopbrengsten gemiddeld per perceel staan in Bijlage 7. Hierbij is aangegeven welke proefveldjes verstoord zijn geweest.

Tabel 9

Stikstofopbrengsten inclusief statistische schatting voor missende waarnemingen per jaar, per behandeling en per snede (kg ds.ha⁻¹).

	2013					2014				
	1	2	3	4	Totaal	1	2	3	4	Totaal
Jaar	97	54	54	62	267	108	53	65	58	285
Vast hoog peil	98	55	55	55	263	92	43	65	49	249
Dynamisch peil	96	54	56	65	271	109	56	56	60	281
Vast laag peil	97	54	52	65	267	124	60	75	65	324
Geen drains	93	54	61	64	272	109	48	65	57	279
Drains	101	55	47	59	262	108	58	65	59	290
N0	76	37	42	52	206	88	48	55	55	247
N1	118	72	66	71	328	128	58	76	61	323

De verschillen in tussen de jaren en tussen de behandelingen wordt verklaard aan de hand van de statistische analyse en de weergave van de resultaten in Figuur 15.

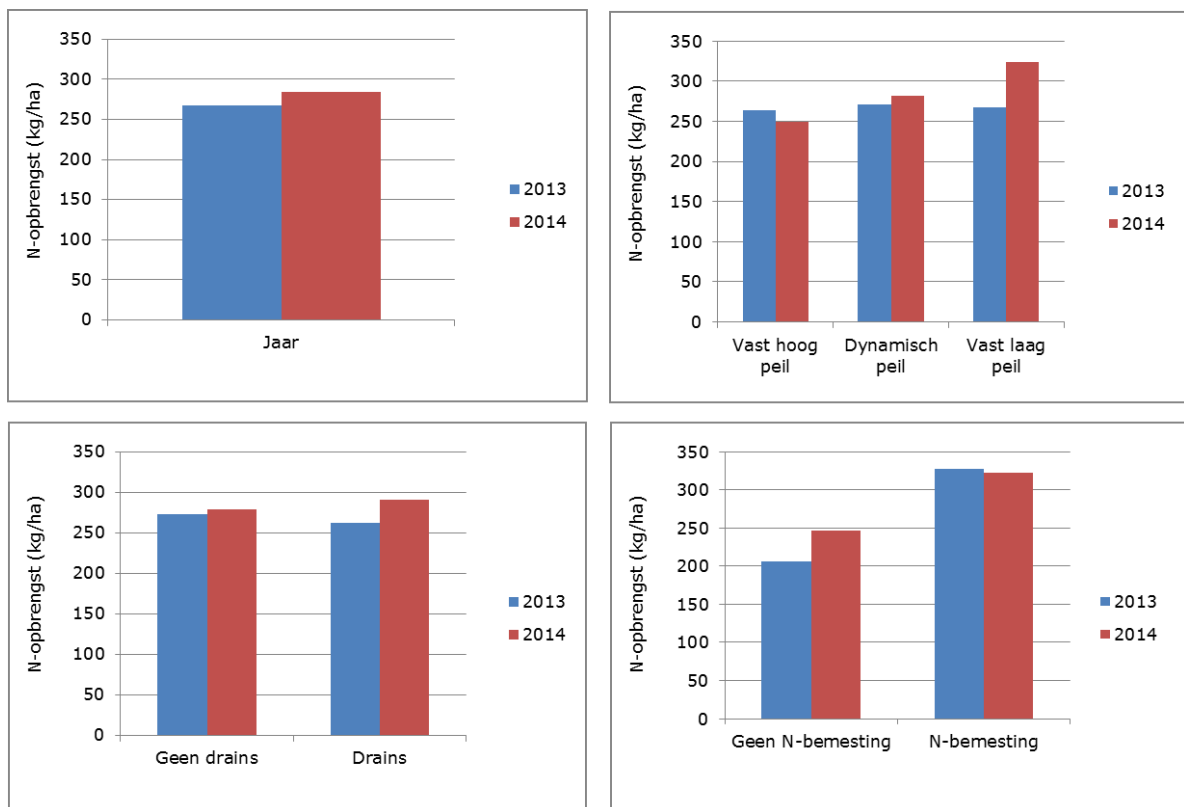
De berekende P-waarden van de F-toetsen van behandelingseffecten voor de N-opbrengsten staan in Tabel 10 per snede en de totale jaaropbrengst.

Tabel 10

Berekende P-waarden van F-toetsen van effecten op de stikstofopbrengst in 2013 en 2014 voor een ANOVA model met hoofdeffecten en 2 factor interacties. Significante verschillen zijn onderstreept.

	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal
Peilstrategie	0,297	<u>0,037</u>	0,155	0,140	0,096
Drainage	0,288	0,327	0,115	0,557	0,970
Peilstrategie x Drainage	0,853	0,732	0,325	0,314	0,439
N-bemesting	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>	<u>>0,001</u>
Peilstrategie x N-bemesting	0,609	0,115	0,915	0,052	0,939
Drainage x N-bemesting	0,940	0,477	0,676	0,260	0,585
Jaar	<u>>0,001</u>	0,483	<u>0,001</u>	0,156	<u>0,002</u>
Peilstrategie x Jaar	<u>>0,001</u>	<u>0,001</u>	<u>0,015</u>	0,649	<u>>0,001</u>
Drainage x Jaar	<u>0,018</u>	<u>0,010</u>	<u>0,023</u>	0,144	<u>0,039</u>
N-bemesting x Jaar	0,560	<u>>0,001</u>	0,546	<u>0,010</u>	<u>>0,001</u>

Op jaarbasis (totaal) waren evenals voor droge stofopbrengst de significante hoofdeffecten beperkt tot Stikstofbemesting en Jaar. Ook de interacties voor Peilstrategie x Jaar, Drainage x jaar en N-bemesting x Jaar waren significant. Het hoofdeffect voor Jaar en de drie interactie-effecten voor de opbrengsten op jaarbasis zijn weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15 Stikstofopbrengst per jaar (2013 en 2014) en uitgesplitst per jaar voor de behandelingen peilregime, drains en stikstofbemesting ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Figuur 15 laat voor de stikstofopbrengsten vergelijkbare verschillen tussen de behandelingen zien als het verschil in droge stofopbrengsten (Figuur 14). Het verschil in stikstofopbrengsten tussen beide jaren was bij een vast laag peil het grootst. Een vast laag slootpeil (met en zonder onderwaterdrains) gaf in 2013 een relatief lagere stikstofopbrengst door meer droogteschade en in 2014 een relatief hoge droge stofopbrengst door minder natschade. Daarbij gaven onderwaterdrains in 2013 lagere droge stofopbrengsten door hogere grondwaterstanden en minder stikstoflevering en in 2014 hogere grasopbrengsten door minder natschade. Een verband tussen een hogere grondwaterstanden en een lagere stikstofopbrengst werd dus alleen in 2013 gevonden.

3.7 Botanische samenstelling

Het grasland van de proefpercelen is botanisch gekarteerd op 14 mei 2013, 22 april 2014 en 3 oktober 2014 om te zien hoe de botanische samenstelling zich gedurende het onderzoek ontwikkelde. De resultaten van de karteringen zijn uitgewerkt in Bijlage 8. Hierbij is onderscheid gemaakt in het moment van karteren, in het proefperceel en in het gedraineerde en het ongedraineerde deel van het perceel. Per drainbehandeling zijn de resultaten voor het gehele proefvak en per opbrengstveldje weergegeven.

Het wel of niet toepassen van onderwaterdrains had geen invloed op de botanische samenstelling. De onderzoeksperiode was te kort om een effect van onderwaterdrains hierop waar te nemen. Wel nam op de opbrengstveldjes het aandeel kweek toe, doordat deze veldjes uitsluitend gemaaid werden. Kweek is een landbouwkundig slecht gewaardeerde grassoort, omdat deze grassoort bij weiden (vooral in een ouder stadium) door vee slecht wordt opgenomen. De productiviteit en de voederwaarde van kweek is lager dan dat van Engels raaigras. Engels raaigras is landbouwkundig de best gewaardeerde grassoort, vanwege de relatief hoge productie, het hoge eiwitpercentage en de gunstige voederwaarde. Daarbij is de grassoort zowel geschikt voor beweiden als voor maaien. Op natte gronden is het aandeel ruwbeemdgras relatief hoog. Dit is een landbouwkundig matig gewaardeerde grassoort, vanwege de lagere productie en een lagere voederwaarde in een hoger productiestadium.

Vooral op perceel 12 en 13 was de toename van kweek aanzienlijk. In Tabel 11 zijn voor perceel 12 en 13 voor de meest voorkomende grassoorten de resultaten weergegeven.

Tabel 11

De totale bezetting en de meest voorkomende grassoorten perceel 12 en 13 per drainbehandeling, gemiddeld over de opbrengstveldjes en op proefvakkniveau gekarteerd op 14 mei 2013, 22 april 2014 en 3 oktober 2014 (%).

Datum	Perceel 12				Perceel 13			
	Geen drains		Drains		Geen drains		Drains	
	Veldje	Perceel	Veldje	Perceel	Veldje	Perceel	Veldje	Perceel
14-5-2013								
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	52	50	50	51	51	52	53	55
ruw beemdgras	15	13	23	15	25	15	18	12
kweek	14	5	14	5	8	2	14	4
fioringras	14	15	2	20	6	12	5	20
straatgras	3	12	7	5	9	15	6	5
22-4-2014								
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	42	50	52	50	50	48	50	56
ruw beemdgras	18	17	10	25	10	25	20	20
kweek	24	15	26	15	21	10	15	11
fioringras	10	12	1	2	6	10	8	4
straatgras	5	2	6	5	7	5	4	5
3-10-2014								
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98
Engels raaigras	35	55	38	50	50	50	45	45
ruw beemdgras	6	15	8	16	17	15	20	20
kweek	50	4	44	4	23	5	5	5
fioringras	4	10	1	10	4	10	12	12
straatgras	3	10	5	15	3	12	10	10

In de uitgangssituatie op 14 mei 2013 was het aandeel kweek relatief groot. In 2013 was de eerste snede vrij zwaar, waardoor de tweede snede traag opgang kwam. Het effect van een zware snede werd versterkt door droogte. Hierdoor kreeg kweek, dat relatief droogteresistent is door een grotere worteldiepte en grotere wortelreserves, meer kans dan Engels raaigras en dat leidde tot een hoger aandeel kweek. Tijdens de kartering op 22 april 2014 bleek het aandeel kweek op de opbrengstveldjes fors toegenomen ten opzichte van de kartering op 14 mei 2013. Doordat de opbrengstveldjes uitsluitend werden gemaaid zette de toename van het aandeel kweek op deze veldjes door. Buiten de proefveldjes werd het resterende deel van de proefvakken overwegend geweid, waardoor het aandeel kweek in het verdere groeiseizoen van 2014 werd teruggedrongen. Uiteindelijk was het aandeel kweek buiten de opbrengstveldjes vergelijkbaar met de uitgangssituatie in 2013.

4 Discussie

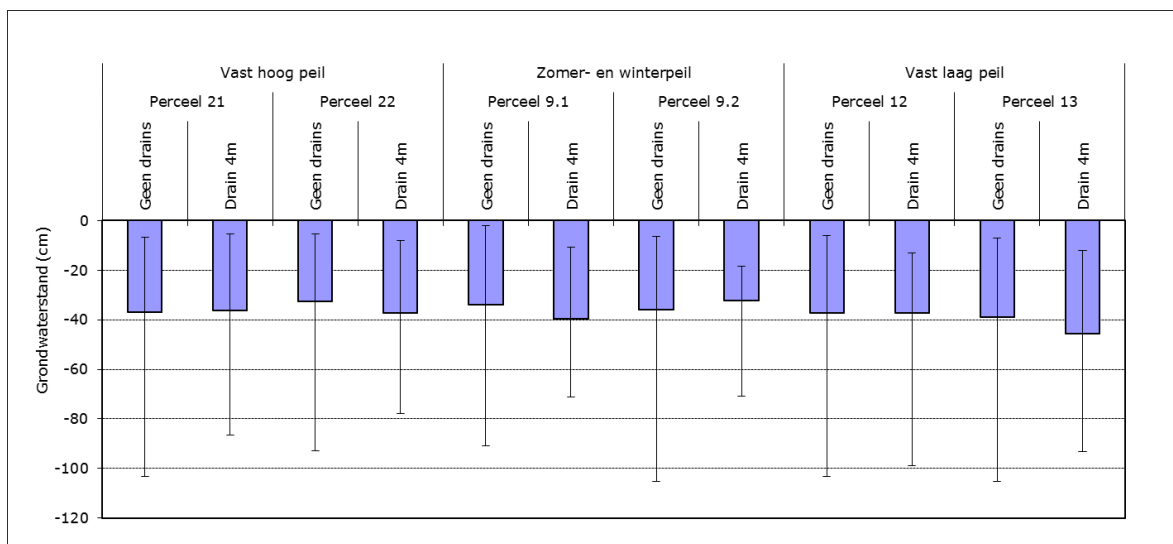
4.1 Modelleren grondwaterstanden

Het modeleren van het grondwaterstandsverloop volgens een sinusoïde geeft een sterk vereenvoudigde benadering van de werkelijkheid (zie ook Hoving *et al.*, 2013). Het gaat voorbij aan details in het grondwaterverloop en is daarmee niet te vergelijken met een hydrologische modellering van grondwaterstanden. Echter, met het toepassen van deze grove benadering volgens een sinusoïde wordt wel inzicht verkregen in hoe de zomer- en wintergrondwaterstanden zich tussen behandelingen verhouden. Vooral deze informatie is bruikbaar om de peilstrategieën en het toepassen van onderwaterdrains op waarde voor de praktijk te beoordelen. De hoge wintergrondwaterstanden zijn vooral bepalend voor draagkracht en daarmee gebruiksbeperkingen van grasland en de lage zomergrondwaterstanden houden nauw verband met veenaafbraak en maaiveld daling (Van den Akker *et al.*, 2007a). Bovendien kunnen aan de hand van de modelparameters de resultaten statistisch betrouwbaar getoetst worden, wat meer zekerheid geeft of behandelingen daadwerkelijk tot een verschillend resultaat leiden. De onderzoeksperiode van twee jaar was wat dat betreft relatief kort.

De gefitte sinusoïde curves met een percentage verklaarde variantie van ongeveer 60 percent geven een redelijke beschrijving van de grondwaterstandsmetingen in de tijd. Voor peilbuizen waarvoor de curve slechts tussen de 20-40 procent van de variatie verklaart, passen de curves minder goed bij de gemeten grondwaterstanden. Dit betrof vooral de minimum (diepste) grondwaterstanden in de zomer die meer varieerden dan de maximale (hoogste) grondwaterstanden in de winter. Vooral voor perceel 9.1 en 9.2 met een zomer- en winterpeil was het percentage verklaarde variantie ter grootte van het minimum, het eerste kwartiel en de mediaan laag door de relatief diepe grondwaterstanden in de zomer van 2013 in de ongedraineerde situatie.

4.2 Analyse grondwaterstanden

De werkelijk variatie in grondwaterstanden voor de ongedraineerde situaties was groter dan met de modellen werd gesimuleerd, waardoor voor het vertalen van de effecten naar maaiveld daling (lage grondwaterstanden) en graslandgebruik (hoge grondwaterstanden) ook naar de werkelijke verschillen tussen behandelingen gekeken moet worden. In Figuur 16 is per perceel per behandeling de gemiddelde gemeten grondwaterstand weergegeven. Met variatiebalkjes zijn de laagste en hoogste gemeten grondwaterstand weergegeven. Per perceel is gecorrigeerd voor droogleggingsverschillen en is de maaiveldhoogte van de ongedraineerde situatie als referentie gekozen.



Figuur 16 Gemiddelde grondwaterstand per perceel per drainbehandeling. De maximale (hoogste) en minimale (diepste) gemeten grondwaterstanden per perceel per behandeling zijn met variatie balkjes aangegeven ten opzichte van het gemiddelde niveau (cm –maaiveld). Per perceel is de maaiveldhoogte van de ongedraineerde situatie als uitgangspunt genomen.

De gemeten gemiddelde grondwaterstanden komen vrijwel overeen met de gemodelleerde gemiddelde grondwaterstanden, echter de maximale grondwaterstanden zijn hoger en de minimale grondwaterstanden zijn aanzienlijk lager (zie Figuur 7). Het verschil tussen de minimale waarden en de gemiddelden per peilstrategieën en drainbehandelingen vertonen voor de gemeten waarden een zelfde patroon als die voor de gemodelleerde waarden. Voor de maximale waarden geldt dat in mindere mate en zijn de verschillen tussen de behandelingen voor de gemeten waarden kleiner dan voor de gemodelleerde waarden.

Een lager winterpeil (vast laag peil en winterpeil bij zomer- en winterpeil) had een verlagend effect op de maximale wintergrondwaterstanden en een hoger zomerpeil (vast hoog peil en zomerpeil bij zomer- en winterpeil) had een verhogend effect op de minimale zomergrondwaterstanden. Vooral het verschil in de minimale zomergrondwaterstanden was aanzienlijk ondanks dezelfde stand van het slootpeil.

Om de verschillen in zomergrondwaterstanden bij een gelijke drainbehandeling en een gelijk slootpeil te verklaren is in de eerste plaats gekeken of dit verband houdt met verschil in drooglegging tussen percelen. Wanneer droogleggingsverschillen geen verklaring bieden dan is de verwachting dat de verschillen worden veroorzaakt door een verschil in horizontale waterdoorlatendheid van de bodem. In Tabel 12 staan per perceel per drainbehandeling de drooglegging, de minimale en maximale grondwaterstanden en de verschillen tussen de percelen per drainbehandelingen.

Tabel 12

Drooglegging (cm), minimale (min.) en maximale (max.) grondwaterstand per perceel per drainbehandeling (cm –maaiveld) en de verschillen tussen de percelen per drainbehandelingen (cm).

	Perceel	Geen drains		Drain 4m		Geen drains		Drain 4m	
		Droog-legging	Min.	Droog-legging	Min.	Droog-legging	Max.	Droog-legging	Max.
<i>Vast hoog peil</i>	21	30	103	29	87	30	7	29	5
	22	34	93	30	78	34	5	30	8
	Vershil	-4	10	-1	9	-4	1	-1	-3
<i>Zomerpeil- en winterpeil</i>	9.1	37	91	35	71	37	2	50	11
	9.2	32	105	44	71	32	6	59	18
	Vershil	6	-14	-9	0	6	-4	-9	-8
<i>Vast laag peil</i>	12	50	103	56	99	50	6	56	13
	13	53	105	50	93	53	7	50	12
	Vershil	-3	-2	6	5	-3	-1	6	1

De verwachting is dat bij een vergelijkbare horizontale waterdoorlatendheid van de bodem een grotere drooglegging de minimale en maximale grondwaterstanden verlaagt en dat daarentegen een geringere drooglegging de minimale en maximale grondwaterstanden verhoogt. De aangegeven verschillen in Tabel 12 geven voor perceel 21, 22, 9.1 en 9.2 een tegenstrijdig beeld, uitgezonderd de maximale grondwaterstanden in de gedraineerde situatie; een grotere drooglegging (negatief verschil) gaf hogere grondwaterstanden (positief verschil) of omgekeerd. Een verklaring voor de verschillen moet zodoende gezocht worden in bodemverschillen. In de volgende paragraaf wordt hier nader op ingegaan.

4.3 Verschil tussen percelen

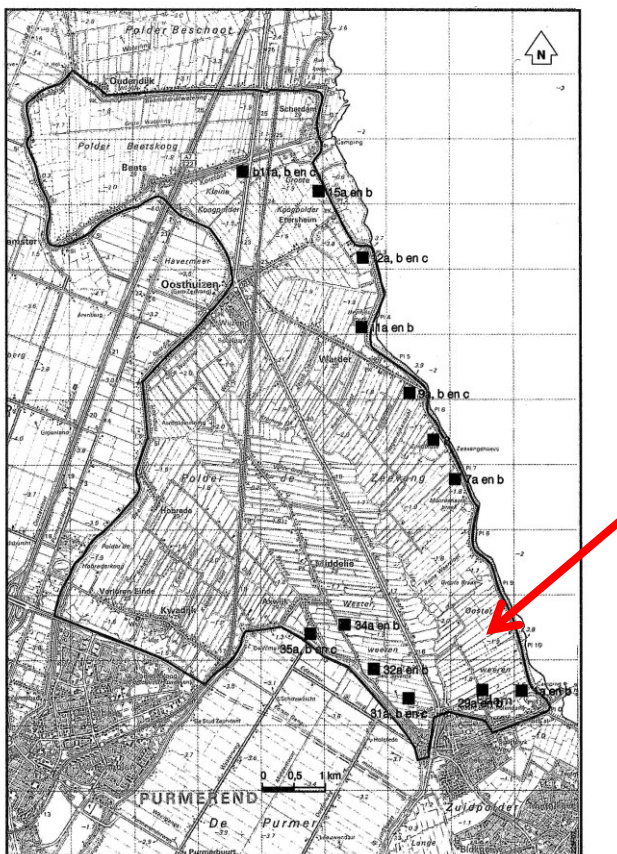
Binnen de peilregimes was het effect van onderwaterdrains per perceel niet gelijk. Vooral het verschil in zomergrondwaterstanden (infiltratie) bij Zomer- en winterpeil was groot. Dit kan duiden op verschil in infiltratieweerstand vanuit de sloot of het duidt op verschillen in horizontale waterdoorlatendheid (k-waarde), ondanks dat de bodeminventarisatie uitwees dat de variatie in k-waarden tussen de proefpercelen gering was. Zonder onderwaterdrains was het verloop van de grondwaterstanden van de drie peilregimes praktisch gelijk (zie verder paragraaf 4.5) waaruit blijkt dat de infiltratieweerstand vergelijkbaar was en dan is een verschil in k-waarde het meest waarschijnlijk.

De gemiddelde k-waarden die bepaald zijn met de boorgatmetingen (8 juni 2012) zijn in Figuur 17 ruimtelijk weergegeven. De gemeten waarden variëren tussen 0,025 m/d tot 0,071 m/d. De hoogste waarden werden gevonden nabij de IJsselsemeerdijk.



Figuur 17 Gemeten k-waarden met de boorgatenmethode 8 juni 2012.

Mulder en Steenbergen (1995) hebben ook boorgatmetingen uitgevoerd in polder Zeevang. De locaties lagen op enige afstand van de proefpercelen. In Figuur 18 staan de boorgatlocaties en de globale ligging van de proefpercelen (rode pijl).



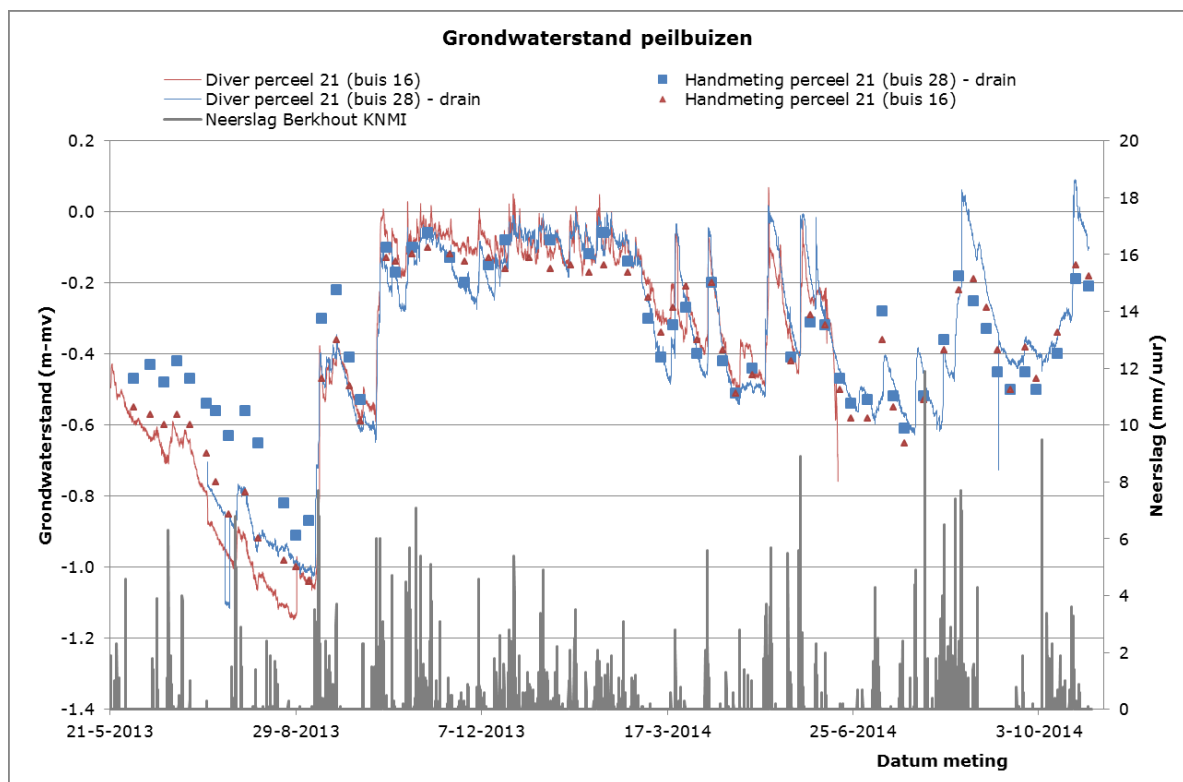
Figuur 18 Locaties boorgatmetingen Mulder en Steenbergen (1995) en ligging proefpercelen (rode pijl).

De locaties 1 a en b en 29 a en b liggen het dichtstbij de proefpercelen. De metingen uit Figuur 18 hebben betrekking op de laag tot maximaal 1 m diepte. De k-waarden die door Mulder en Steenbergen zijn bepaald staan in Bijlage 9, Tabel 1 en variëren voor beide locaties tussen 0,05 en 0,15 m/d. De k-waarden waren gelijk tot iets hoger dan die in 2012 op de proefpercelen gemeten zijn. Elders werden in polder Zeevang wel hogere k-waarden gemeten. Verder blijkt uit de betreffende tabel dat de k-waarde toenamen met de diepte.

De k-waarden zijn relatief laag. Er is wel enige variatie, maar dit verklaart nog niet de grote verschillen tussen vooral de percelen 9.1 en 9.2. Dit kan alleen verklaard worden door k-waarden die buiten de range van de gevonden meetwaarden liggen.

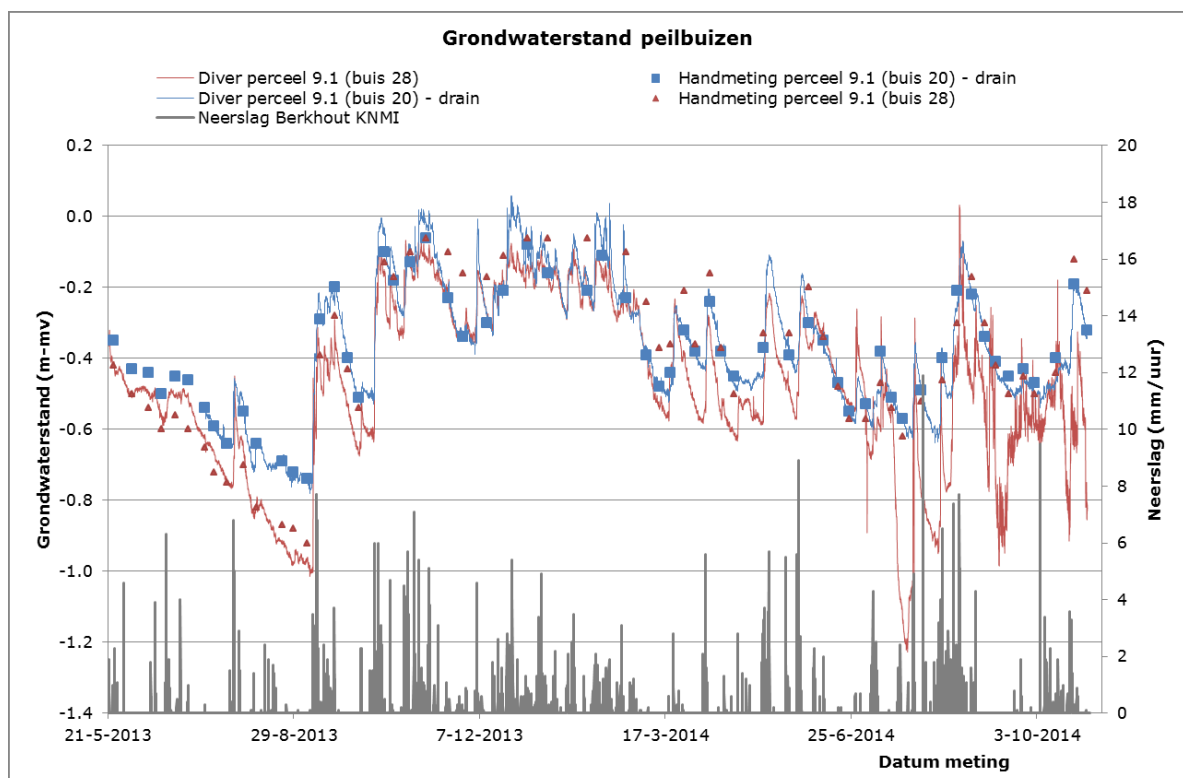
4.4 Meting grondwaterstanden

In aanvulling op de handmatige metingen van de grondwaterstanden zijn per peilregime per drainbehandeling grondwaterstanden met divers gemeten. In de betreffende buizen waar de divers geplaatst waren, werden ook wekelijks handmatig metingen verricht. In Figuur 19, 20 en 21 staan de resultaten voor respectievelijk de peilregimes Vast hoog peil (perceel 21), Zomer- en winterpeil (perceel 9.1) en vast laag peil (perceel 12) van zowel de handmatige metingen als die van de divers.



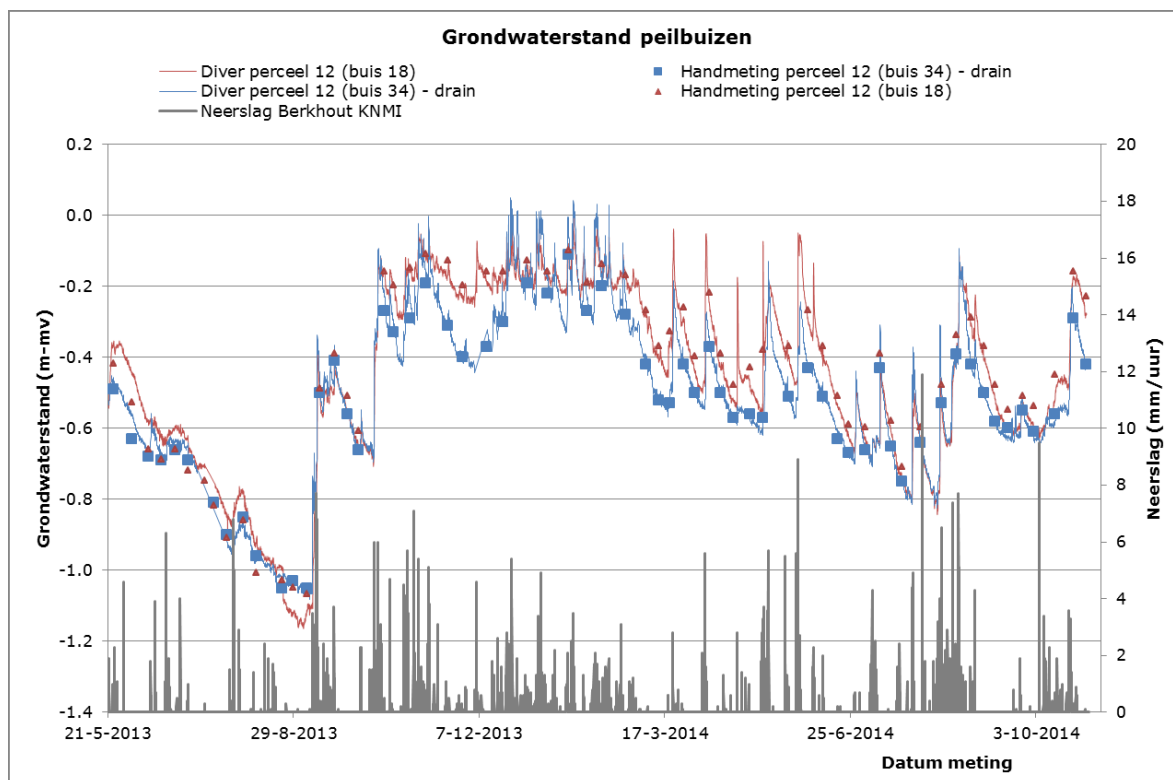
Figuur 19 Grondwaterstanden handmatig gemeten en gemeten met divers, peilregime Vast hoog peil perceel 21 met en zonder onderwaterdrains. Gemeten neerslag KNMI-neerslagstation Berkhout.

Op perceel 21 lopen de handmatige metingen en die van divers tot begin september 2013 behoorlijk uiteen voor beide drainage behandelingen. Daarna komen de metingen wel goed overeen. Vanaf half juni 2014 waren voor de ongedraineerde situatie geen diver metingen meer beschikbaar.



Figuur 20 Grondwaterstanden handmatig gemeten en gemeten met divers, peilregime Zomer- en winterpeil perceel 9.1 met en zonder onderwaterdrains. Gemeten neerslag KNMI-neerslagstation Berkhout.

Op perceel 9.1 kwamen voor de gedraineerde situatie de diver metingen overeen met de handmatige metingen. Voor de ongedraineerde situatie was dit veel minder het geval; vanaf half juli 2014 wijken de diver metingen sterk af van de handmatige metingen op het moment dat de grondwaterstanden daalden ten tijde van een neerslagtekort.



Figuur 21 Grondwaterstanden handmatig gemeten en gemeten met divers, peilregime vast laag peil perceel 12 met en zonder onderwaterdrains. Gemeten neerslag KNMI-neerslagstation Berkhout.

Op perceel 21 kwamen de diver metingen en de handmatige metingen overeen.

Het algemene beeld is dat met de wekelijkse handmatige metingen tijdelijk grondwaterstandpieken gemist worden, die met de divers wel werden gemeten en geregistreerd. Dit leidt gemakkelijk tot een onderschatting van de maximale grondwaterstanden en de mate van vernatting die dit tot gevolg heeft. In de volgende paragraaf is aan de hand van de diver metingen het effect peilstrategie en drainbehandeling op het graslandgebruik gekwantificeerd.

4.5 Vergelijking peilregimes en effect onderwaterdrains

Zonder toepassing van onderwaterdrains verschilde het grondwaterstandsverloop tussen de peilregimes nauwelijks. Dit betekent dat de slootweerstand en de horizontale waterdoorlatendheid van de bodem dusdanig hoog is dat relatief lage slootpeilen de drainage niet of nauwelijks bevorderden en dat relatief hoge slootpeilen de infiltratie niet of nauwelijks bevorderden. Op KTC Zegveld werd in een onderzoek naar het effect van onderwaterdrains wel invloed van het slootpeil op de grondwaterstanden gevonden (Hoving *et al.*, 2013). In tegenstelling tot de proeflocatie in polder Zeevang heeft KTC Zegveld geen veenmosveen en bestaat het onverweerde veen in de ondergrond uit zeggeveen en broekveen. De k-waarden daarvan bedragen ongeveer 0.35 m/d (de gemeten waarden op de proeflocatie variëren tussen 0,025 m/d tot 0,071 m/d).

Onderwaterdrains hadden bij alle drie de peilregimes zowel een verlaging van de wintergrondwaterstand (extra drainage) als een verhoging van de zomergrondwaterstand (extra infiltratie) tot gevolg. De hypothese dat een zomer- en winterpeil gemiddeld zowel de zomergrondwaterstand verhoogt als de wintergrondwaterstand verlaagt werd bevestigd. De variatie in

grondwaterstanden was bij Zomer- en winterpeil zelfs significant kleiner dan bij een vast hoog slootpeil en bij een vast laag slootpeil. Zoals in paragraaf 4.3 is aangegeven wordt de betere werking van onderwaterdrains bij een zomer- en winterpeil echter toegeschreven aan een verschil in horizontale waterdoorlatendheid van de bodem tussen percelen. Een significant kleinere variatie in grondwaterstanden bij de toepassing van onderwaterdrains ten opzichte van een ongedraineerde situatie werd ook gevonden in eerdere onderzoeken op KTC Zegveld (Hoving *et al.*, 2008 en 2013) en in polder Zeevang (Hoving *et al.*, 2012).

Een belangrijke nuancering op de werking van onderwaterdrains is dat het onderscheid in het grondwaterstandsverloop tussen wel en geen onderwaterdrains vooral tot uiting kwam in perioden met een gering neerslagoverschot in de winter (winter 2012-2013) en een fors neerslagtekort in de zomer (zomer 2013). In het nattere jaar 2014 was het verschil in gemeten grondwaterstanden veel geringer. In perioden met een neerslagoverschot leidde een hoog peil (Vast hoog peil en zomerpeil bij Zomer- en winterpeil) in het groeiseizoen zelfs tot hogere grondwaterstanden. Dit is nadelig voor het graslandgebruik en geeft productieverlies door zuurstoftekort in de wortelzone.

Om het nadelige effect van onderwaterdrains in natte periode te kwantificeren is op basis van de diverse metingen per maand per behandeling het aantal dagen bepaald waarbij de grondwaterstand hoger was dan 35 cm –maaiveld. In het onderzoek naar de toepassing van dynamisch peilbeheer in combinatie met onderwaterdrains op KTC Zegveld kwam een grondwaterstand van 30 à 35 cm naar voren als kritieke grondwaterstand om het slootpeil aan te passen; peilverlaging bij een neerslagoverschot en peilverhoging bij een neerslagtekort. Bij grondwaterstanden hoger dan 30 à 35 cm is bij een neerslagoverschot de draagkracht van de graszode te beperkt voor het berijden met machines of het betreden met vee voor beweiding. De kritieke grens van 30 à 35 cm is afhankelijk van bodem en hydrologie en kan per perceel verschillen. In Tabel 13 staat per maand, per slootpeilregime en per drainbehandeling het aantal dagen waarbij de grondwaterstand hoger was dan 35 cm –maaiveld. Per peilregime is het verschil in aantal dagen tussen de gedraineerde en ongedraineerde situatie weergegeven.

Tabel 13

Het aantal dagen per maand, per slootpeilregime en per drainbehandeling waarbij de grondwaterstand hoger was dan 35 cm –maaiveld als kritieke maat voor onvoldoende draagkracht van de graszode. Per peilregime is het verschil in aantal dagen tussen de gedraineerde en ongedraineerde situatie weergegeven. Per maand staat de neerslagsom vermeld (KNMI neerslagstation Edam).

	Neer- slag (mm)	Vast hoog peil			Zomer- en winter peil			Vast laag peil		
		Geen drains	Drains	Vershil	Geen drains	Drains	Vershil	Geen drains	Drains	Vershil
jun-13	57	0	-	-	0	-	-	0	-	-
jul-13	26	0	-	-	0	-	-	-	-	-
aug-13	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sep-13	109	10	17	-7	1	15	-14	0	-	-
okt-13	158	20	20	0	20	20	0	19	16	3
nov-13	102	30	30	0	30	30	0	30	22	8
dec-13	82	31	31	0	31	28	2	31	-	-
jan-14	84	31	31	0	31	31	0	31	31	0
feb-14	63	28	28	0	28	28	0	28	28	0
mrt-14	32	31	31	0	7	12	-5	17	5	12
apr-14	48	25	27	-2	2	7	-4	6	2	4
mei-14	98	25	31	-6	9	15	-7	13	5	9
jun-14	29	-	25	-	7	8	-1	7	0	7
jul-14	90	-	13	-	0	0	0	0	0	0
aug-14	163	-	23	-	4	13	-9	10	6	4
sep-14	22	-	30	-	0	4	-4	2	0	2

In 2013 en 2014 was in de periode maart tot en met september bij een hoog slootpeil (vast hoog peil en het zomerpeil bij Zomer- en winterpeil) het aantal dagen met grondwaterstanden hoger dan 35 cm –maaiveld in de gedraineerde situatie groter dan in de ongedraineerde situatie. In september 2013 was het verschil zelfs 14 dagen. Daarentegen was bij een vast laag slootpeil het aantal dagen per maand met hoge grondwaterstanden in de gedraineerde situatie kleiner dan in de ongedraineerde situatie. Onder natte omstandigheden (neerslagoverschot) is een drooglegging van 35 à 40 cm onvoldoende om met onderwaterdrains, ten opzichte van de ongedraineerde situatie, extra water af te voeren.

Daarentegen was vanuit maatschappelijk perspectief gezien de toegevoegde waarde van onderwaterdrains bij een hoog slootpeil groot in perioden met een neerslagtekort, vanwege de extra infiltratie. De maaiveldaling wordt gereduceerd door een gemiddeld hogere zomergrondwaterstand. Op basis van een relatie tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de maaiveldddaling voor veengrond (Van den Akker *et al.*, 2007a) is per slootpeilregime, per perceel, per drainbehandeling de maaiveldddaling berekend. Hierbij is het gemiddelde genomen van de relatie voor veengrond zonder en een veengrond met een deklaag van klei (deklaagdikte < 40 cm) vanwege het dunne kleidek van 20 cm in de bovengrond. Daarbij wordt met deze relatie een maaiveldddaling voor de ongedraineerde situatie berekend van gemiddeld 6 mm per jaar en dit benadert de gemiddelde maaiveldddaling volgens de hoogtemetingen uit 1995 en 2012 (zie paragraaf 2.1). De relatie is als volgt:

$$\text{Maaiveldddaling per jaar} = 23,537 \text{ GLG} - 8,58$$

Als invoerwaarden zijn de laagste zomergrondwaterstanden genomen zoals die volgens de sinusoïde curves berekend zijn. Deze liggen in de buurt van de GLG zoals die bij de bodemkartering is ingeschat. De proefperiode was tekort om op basis van de grondwaterstandmetingen de GLG te kunnen bepalen. Het resultaat van de berekende maaiveldddaling staat in Tabel 14. Daarbij is het percentage vermindering van de maaiveldddaling aangegeven.

Tabel 14

*Maaiveldddaling (mm/jaar) in relatie tot de gemodelleerde laagste grondwaterstanden (cm -maaiveld) per peilregime, per perceel, per drainbehandeling berekend op basis van relaties uit Van den Akker *et al.* (2007a). Het verschil in maaiveldddaling tussen de gedraineerde en ongedraineerde situatie is in procenten weergegeven.*

		Geen drains	Drain 4m	Vermindering maaiveldddaling (%)
<i>Vast hoog peil</i>	Perceel 21	6,2	4,0	36
	Perceel 22	4,9	3,4	31
<i>Zomer- en winterpeil</i>	Perceel 9.1	5,2	2,6	50
	Perceel 9.2	6,4	3,4	46
<i>Vast laag peil</i>	Perceel 12	6,5	6,3	3
	Perceel 13	7,1	5,8	18
<i>Gemiddeld</i>		6,0	4,3	31

Onderwaterdrains verminderen bij een hoog slootpeil in het groeiseizoen de maaiveldddaling substantieel van ongeveer 30 tot 50% afhankelijk van de mate van infiltratie. Bij een laag slootpeil daarentegen is de bijdrage van onderwaterdrains aan de vermindering van maaiveldddaling betrekkelijk gering.

Bedacht moet worden dat de empirische vergelijkingen van Van den Akker *et al.*, (2007) gebaseerd zijn op metingen in situaties zonder onderwaterdrains. Deze vergelijkingen zijn daarom feitelijk niet bewezen geschikt voor de berekening van de maaiveldddaling bij een situatie met onderwaterdrains. Uit metingen van de maaiveldddaling van percelen deels met en zonder onderwaterdrains op de KTC Zegveld (Van den Akker *et al.*, 2012) blijkt dat bij een drooglegging van ca 55 cm onderwaterdrains de maaiveldddaling veel sterker beperken dan 50%. De berekende maaiveldddalingen bij een situatie met onderwaterdrains zijn blijkbaar een nogal pessimistische inschatting en om het effect van onderwaterdrains op de maaiveldddaling te bepalen moeten deze echt worden gemeten.

4.6 Grasopbrengsten

Het effect van onderwaterdrains op de opbrengst was per jaar verschillend. In het drogere jaar 2013 was de opbrengst in de gedraineerde situaties lager dan in de situaties zonder drains. Dit kan verklaard worden door een lagere stikstoflevering uit de bodem door remming van de veenafbraak. In het nattere jaar 2014 trad het omgekeerde effect op en was de opbrengst in de gedraineerde situaties hoger dan in de ongedraineerde situaties. Door de nattere omstandigheden in 2014 is het niet waarschijnlijk dat dit het gevolg is geweest van verschil in stikstoflevering. Eerder moet de verklaring gezocht worden in een vermindering van natschade, temeer omdat in 2014 ook de productie bij een vast laag peil significant hoger was. Hierdoor was de productie hoger en daarmee ook de stikstofopname. Natschade betreft de reductie van grasgroei als gevolg van zuurstoftekort in de wortelzone door relatief natte omstandigheden. Bij dit positieve opbrengsteffect van drains werd geen statistisch verschil tussen peilregimes (peilregime x drainage) gevonden, ondanks dat bij onderwaterdrains in combinatie met hoge slootpeilen in perioden met een neerslagoverschot hogere grondwaterstanden werden gemeten.

5 Onderwaterdrains in de praktijk

5.1 Betekenis onderwaterdrains voor melkveehouders

5.1.1 Effect op grasgroei en graslandgebruik

Grasland in het westelijk veenweidegebied wordt gekenmerkt door hoge slootpeilen en daardoor een geringe drooglegging. Hoge slootpeilen leveren bij een neerslagoverschot in het groeiseizoen aanzienlijke gebruiksbeperkingen op door natte omstandigheden. De draagkracht van de graszode is bij een neerslagoverschot snel beperkend voor het uitrijden van mest, voederwinning en beweiding. Daarbij wordt de grasgroei verminderd door natte omstandigheden. Door een hoog vochtgehalte in de wortelzone ontstaat zuurstofstofstress, waardoor de vochtopname en de verdamping van het gras reduceert. Vernatting geeft zodoende een direct productieverlies, maar ook indirect verlies door een verslechtering van de botanische samenstelling. De productie en de voederwaarde van gras wordt beperkt door een hoger aandeel landbouwkundig matig of slecht gewaardeerde grasrassen.

De drainerende werking van onderwaterdrains komt ten goede aan de draagkracht van de graszode en daarmee aan de gebruiksmogelijkheden van het grasland. Een betere draagkracht verhoogt in natte perioden het aantal dagen waarop het land kan worden bereden voor mestuitrijden en voederwinning en verlengt het graasseizoen en voorkomt veel vertrappingsschade. Dit heeft grote invloed op de bedrijfsvoering en de netto hoeveelheid gras die nuttig kan worden gebruikt. De mate van drainage wordt echter sterk bepaald door de hoogte van het slootpeil. Eerder onderzoek, en ook het onderzoek dat in dit rapport beschreven staat, wijst uit dat bij een slootpeil van 55 cm – maaiveld er duidelijk sprake is van extra waterafvoer ten opzichte van de ongedraineerde situatie (Hoving *et al.*, 2008, 2012 en 2013). Een slootpeil van 35 cm – maaiveld, zoals dat is toegepast in het onderzoek dat in het voorliggende rapport staat beschreven, gaf bij een neerslagtekort en kortstondige perioden met een neerslagoverschot in het groeiseizoen een voldoende ontwatering. Echter op het moment dat het neerslagoverschot groter werd en langer aanhield was de afvoer van water onvoldoende en leidde dat zelfs tot hogere grondwaterstanden dan in de ongedraineerde situatie. In de veldproeven die tot nu zijn uitgevoerd en in het onderzoek dat in het voorliggende rapport staat beschreven werd, door de relatief korte duur van de proeven, geen toename van het aandeel goede grassen waargenomen bij de toepassing van onderwaterdrains. Op langere termijn treedt mogelijk wel een verbetering van de botanische samenstelling op.

Metingen in drie pilots-onderwaterdrains gaven een hogere (gemiddeld 17%) indringingsweerstand bij percelen met onderwaterdrains (Van den Akker *et al.*, 2013; Van Noord, 2012). Dit duidt op een betere draagkracht van de veenbodem van deze percelen. Het verschil was groter in regenrijke (gem. 20 mm per dag) perioden en liep dan op tot 21%. Uit de metingen en ervaringen (Van den Akker *et al.*, 2013) volgt dat het aantal dagen waarop het perceel kan worden beweide of bereden, door toepassing van onderwaterdrains toeneemt (STOWA, 2015).

Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Een voldoende laag slootpeil is hierbij van groot belang. Het gebruik van onderwaterdrains om maaiveld dalen te verminderen vraagt echter om relatief hoge slootpeilen. Door variërende weersomstandigheden (tussen jaren en binnen jaren) komen vaste slootpeilen onvoldoende aan de tegengestelde eisen tegemoet. Voor de landbouw is bij het hanteren van hoge peilen in het groeiseizoen een dynamisch(er) peilbeheer gewenst om ook in perioden met veel neerslag daadwerkelijk profijt te hebben van onderwaterdrains (zie aanbevelingen Hoofdstuk 8). Alleen peilverlaging in de wintermaanden geeft onvoldoende voordeel.

5.1.2 Benutting nutriënten

Drogere veldomstandigheden geven minder risico op afspoeling van meststoffen naar het oppervlaktewater en er is meer gelegenheid om mest te geven op het moment dat gras dit goed kan benutten. Uit eerdere veldproeven op KTC Zegveld (Hoving *et al.*, 2008) en in polder Zeevang (Hoving

et al, 2011) bleek dat de stikstoflevering vanuit de bodem met enkele kilo's per ha verminderde door toepassing van onderwaterdrains als gevolg van een verminderde veenafbraak. Bij een bemestingsniveau conform de praktijk leverde dit echter geen productieverlies op doordat de lagere stikstoflevering gecompenseerd werd door een hogere stikstofbenutting uit mest. In de veldproeven waren de bemestingstijdstippen gelijk. Wanneer in de praktijk echter door een verbeterde draagkracht van de graszode eerder bemest kan worden en de minimum vereiste bodemtemperatuur van 8°C voor grasgroei wordt eerder bereikt, dan neemt het aantal groeidagen toe en daarmee de grasproductie.

5.1.3 Maaiveldligging en ontwatering

Op langere termijn nivelleren onderwaterdrains de maaiveldhoogte binnen een perceel. Door de ruimtelijk gelijkmatiger grondwaterstand zonder de diepe uitzakking midden tussen de sloten zal vooral de typische holle ligging van de percelen verdwijnen. Bolgezette percelen zullen met OWD langer de bolle ligging behouden. De combinatie van vlakker maaiveld en vlakkere grondwaterspiegel geeft een gelijkmatigere ontwatering binnen het perceel. Dit is vooral van groot belang voor het landbouwkundig gebruik van de percelen in natte perioden: midden tussen de sloten is de ontwatering dan groter dan in percelen zonder OWD met de klassieke holle ligging.

Bron: STOWA, 2015

5.1.4 Leverbot

Veenweidebedrijven hebben vaak te maken met een forse leverbotinfectie van het rundvee door hoge slootpeilen en natte omstandigheden. Het zijn vooral de watervoerende greppels in het grasland die een gunstig milieu vormen voor slakken, waaronder de leverbotslak (*Lymnaea truncatula*) die een belangrijke rol speelt in de overdracht van de parasiet leverbot. Door onderwaterdrains worden de greppels droger, waardoor naar verwachting de infectiedruk lager wordt.

Leverbot wordt veroorzaakt door de platworm *Fasciola hepatica*, die zich in een volwassen stadium in de galgangen van de lever bevindt (Gaasenbeek, 1997 niet gepubliceerd). In de cyclus van de leverbot fungeert de slak *Lymnaea truncatula* als tussengastheer. De cyclus komt tot stand doordat eieren gelegd door de leverbot met de mest op het land komen, zich ontwikkelen tot een trilhaarlarve die in de slak kruipt en zich ontwikkelt tot infectieuze larven die door de slak worden uitgestoten en zich vastzetten op het gras. De slak komt voor in vochtige milieus zoals greppels, drinkpoelen, kwelzones en vertrapte plaatsen waar water blijft staan. In deze slakkenmilieus vindt de overdracht plaats tussen parasiet en gastheer door het eten van besmet gras. Dus de plaatsen waar de slak voorkomt vormen de risicogebieden waar infecties worden opgenomen. De grootste kans voor de opname van leverbotinfecties is in het najaar en in mindere mate het voorjaar. Leverbotinfecties veroorzaken o.a. verminderde groei, verminderde melkgift en reproductiestoornissen en kunnen worden vastgesteld d.m.v. mest- en bloedonderzoek. Bij een hoge infectiedruk dient vee routinematig behandeld te worden.

De bestrijding van de parasiet is alleen nog mogelijk bij jongvee. Het is niet meer toegestaan om melkgevend dieren inclusief droogstand en vaarzen vanaf zes weken voor het kalven te behandelen (Neijenhuis et al., 2014). Een chronische besmetting heeft een negatieve invloed op de gezondheid en de productie van het melkvee en dit heeft negatieve gevolgen voor het economische bedrijfsresultaat. Het is onduidelijk hoe groot dit nadeel bedraagt.

5.2 Betekenis onderwaterdrains voor de maatschappij

5.2.1 Maaiveldaling

Maaiveldaling heeft vele nadelen (Van den Akker et al., 2010, 2014). Gegeven het feit dat de zeespiegelstijging door klimaatverandering steeds sterker wordt, lijkt een bodemdaling die het verschil tussen maaiveld en zeespiegel deze eeuw meer dan een meter doet toenemen wel het laatste wat

men wil. Daarbij moet worden bedacht dat door klimaatveranderingen de temperatuur stijgt met langere droge perioden waardoor de grondwaterstanden diep wegzakken en de maaiveldddaling naar verwachting eind van deze eeuw bijna verdubbelt. Het verdwijnen van het veen als grondslag van tuinen en infrastructuur (wegen, riolering, enz.) veroorzaakt schade door verzakking o.a. doordat houten funderingspalen van gebouwen boven water komen en gaan rotten. De maaiveldddaling is ook niet overal evenveel, waardoor het waterbeheer steeds meer versnipperd raakt door de sterke toename van het aantal peilgebieden en daardoor steeds moeilijker en duurder wordt. Er zijn meer voorbeelden dat natuurgebieden naar de steeds dieper liggende landbouwgebieden draineren en zo verdrogen. De wegzijging neemt af of slaat om in kwel, bestaande kwel neemt toe. De kwel is in veenweidegebieden vaak nutriëntenrijk en als de maaiveldddaling flink doorzet ook zout. Door de voortdurende maaiveldddaling zakt uiteindelijk het maaiveld onder het (vaste) waterpeil van hoogwatersloten, meren en plassen. In eerste instantie ontstaan daarbij veenkaden, die op een bepaald moment met veel kosten moeten worden opgehoogd en onderhouden. Uit een maatschappelijke baten en kosten analyse (MKBA) uitgevoerd voor het gebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden blijkt dat de kosten van maaiveldddaling veel hoger zijn dan in het algemeen wordt gedacht en dat deze steeds meer toenemen (van Hardeveld *et al.*, 2014). Uit deze MKBA blijkt dat toepassing van onderwaterdrains een belangrijk middel kunnen zijn om de kosten gepaard gaande met veenoxidatie, maaiveldddaling en CO₂ emissies binnen de perken te houden en het veenweidegebied economisch levensvatbaar te houden.

Uit metingen op KTC Zegveld en andere proeflocaties blijkt dat de maaiveldddaling sterk gerelateerd is aan de zomergrondwaterstand (Van den Akker *et al.*, 2007a). Onderwaterdrains blijken de freatische grondwaterstand dicht bij het slootpeil te houden. Met onderwaterdrains zakt de grondwaterstand in droge perioden met een neerslagtekort minder diep uit en stijgt de grondwaterstand in natte perioden minder snel en lang tot in of vlak onder maaiveld. In o.a. een proef op KTC Zegveld (Hoving *et al.*, 2008) en drie pilots onderwaterdrains in Zuid-Holland (Van den Akker *et al.*, 2013) en Utrecht (Hendriks *et al.*, 2013) is dit aangetoond met grondwaterstandmonitoring en -modellering. Ook uit onderhavig onderzoek bleek dit. Afhankelijk van factoren als weerjaren, perceelsbreedten en kwel/wegzijging was de behaalde verhoging van de laagste grondwaterstand 10-20 cm en 30 cm in een extreem droog jaar, en de behaalde verlaging van grondwaterstandpieken 20-30 cm. In het algemeen is de verwachting dat onderwaterdrains de maaiveldddaling halveren.

Ook uit hoogtemetingen blijkt in het algemeen dat de maaiveldddaling door onderwaterdrains sterk afneemt. Op KTC Zegveld was in de periode 2004-2012 door toepassing van OWD de maaivelddalingsnelheid zelfs tot minder dan een vijfde te gereduceerd (Van den Akker *et al.*, 2012). Dit zeer goede resultaat was echter sterk vertekend door het extreem droge jaar 2003 voorafgaand aan de start van de metingen. Het onderschrijft de verwachting dat onderwaterdrains de maaiveldddaling halveren.

Bron: STOWA, 2015

5.2.2 Belasting oppervlaktewater

Door Hendriks en Van den Akker (2012) is een modelstudie uitgevoerd naar het effect van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in veenweiden in West-Nederland. Hiertoe zijn voor de macronutriënten fosfor, stikstof en sulfaat zeventien veenweide-eenheden met drie droogleggingen (40, 50 en 60 cm) en een W+ klimaatscenario doorerekend met SWAP-ANIMO. Sulfaat heeft een belangrijke invloed op de aquatische ecologie van de veensloot, onder meer in het proces van 'interne eutrofiëring'. Sulfaat wordt in verband gebracht met versnelde veenafbraak. Onderwaterdrains zouden sulfaatrijk sloot- of inlaatwater de veenafbraak stimuleren (Van den Akker *et al.*, 2007b). Indicatieve berekeningen van het betreffende onderzoek gaven echter een bovengrens van 0,05 mm per jaar voor maaiveldddaling veroorzaakt door sulfaat in infiltrerend water in westelijke veenweiden. Bovendien blijkt uit de modelberekeningen dat in het veenweidegebied de oxidatie van pyriet in de veenbodem een veel grotere bron van sulfaat is dan de inlaat van gebiedsvreemd water. Toepassing van onderwaterdrains leidt niet alleen tot minder veenoxidatie, maar ook tot minder sulfaatvorming door pyrietoxidatie.

De algemene conclusie uit de modelberekeningen is dat toepassing van onderwaterdrains in bijna alle gevallen tot een soms aanzienlijke vermindering van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater zal leiden. Dit geldt het sterkst voor fosfor en het minst voor sulfaat.

Fosfor is hierbij het nutriënt dat in nagenoeg alle beschouwde situaties een vermindering laat zien en daarbij dan ook de relatief grootste vermindering toont. Fosfor is bij deze vermindering weinig gevoelig voor de drooglegging. Wat de meest gunstige drooglegging is, hangt sterk af van de overige kenmerken en condities. Stikstof laat meestal een vermindering zien maar die is geringer dan die van fosfor. Stikstof is hierbij wel gevoeliger voor de drooglegging dan fosfor. Meestal is van de doorgerekende droogleggingen 40 cm de ongunstigste en 60 cm de gunstigste. Wel is er altijd een drooglegging waarbij vermindering of geen verandering optreedt.

Sulfaat is het meest kwetsbare nutriënt voor toepassing van onderwaterdrains. Sulfaat is zeer gevoelig voor de drooglegging. De meest gunstige drooglegging voor vermindering van de sulfaatbelasting door drains is, van de doorgerekende droogleggingen, 40 cm. De grootste drooglegging van 60 cm is bijna altijd de ongunstigste. Het verschil tussen de nutriënten in kwetsbaarheid voor toepassing van onderwaterdrains, sulfaat het meest en fosfor het minst kwetsbaar, heeft voor het grootste deel te maken met de mobiliteit van de nutriënten en de positie van de drains ten opzichte van de bronnen van nutriënten. Sulfaat is het meest mobiel en fosfor het minst. De drains bevinden zich net onder de grootste sulfaatbron, pyrietoxidatie, maar daarentegen tussen de twee grootste fosfor- en stikstofbronnen, de bemesting en de permanent waterverzadigde veenbodem.

Bij de meest gunstige drooglegging van 40 cm voor sulfaat zijn de resultaten voor fosfor regelmatig het minst gunstig. Bij die drooglegging is het effect van drains op fosfor wel altijd vermindering van de belasting. Fosfor en sulfaat zijn gerelateerd in het proces van 'interne eutrofiëring'. Vanwege het toch positieve effect op fosfor, prevaleert dan de gunstigste drooglegging voor sulfaat, 40 cm, die ook beter is voor het behoud van het veen. In algemene zin is voor de effecten van onderwaterdrains op de nutriëntenbelasting nutriëntenarm oligotroof veen gunstiger dan nutriëntenrijk eutroof veen voor fosfor en stikstof, maar is dit meestal omgekeerd voor sulfaat. Hierbij moet worden aangetekend dat de hoge pyriet- en sulfaatgehalten die de oorzaak zijn van de ongunstige effecten op sulfaat bij oligotroof veen een typische kwaliteit zijn van dit oligotrofe veen in Noord-Holland. Een kwaliteit die niet eigen is aan oligotroof veen maar samenhangt met de invloed van de zee.

Klimaatverandering als W+-scenario in 2050 geeft bij een drooglegging van 50 cm absoluut gezien meestal alleen bij sulfaat grotere belasting van het oppervlaktewater. Toepassing van onderwaterdrains blijkt in die situaties nog gunstiger te zijn in de zin van afname van de belasting dan bij huidige klimaat. Volgens de modelstudie van Hendriks *et al.* (2014) neemt bij grootschalige toepassing van onderwaterdrains in Peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen op korte termijn de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater licht af en neemt op de lange termijn de belasting met 10%-20% af. Het langetermijneffect komt vooral door een minder grotere afname van de wegzijging in de situatie met onderwaterdrains dan in de situatie zonder onderwaterdrains.

Bron: Hendriks en Van den Akker, 2012 en Hendriks *et al.*, 2014.

Vanuit het oogpunt van goede landbouwpraktijk is het van belang dat veehouders het uitrijden van mest onder natte omstandigheden zoveel mogelijk voorkomen en ernaar streven om meststoffen zo goed mogelijk te benutten. Met de huidige bandentechniek en het gebruik van een sleepslangmachine is een geringe draagkracht van de graszode steeds minder een belemmering om onder natte omstandigheden mest uit te rijden. Dit geeft zeker in het vroege voorjaar echter een vergroot risico op afspoeling van mest naar het oppervlaktewater. Daar waar bedrijven relatief veel natte percelen hebben is er minder gelegenheid om gunstige omstandigheden af te wachten en wordt ook mest onder minder gunstigere omstandigheden uitgereden. Verliezen zijn zowel nadelig voor de melkveehouder als de waterkwaliteit. Door toepassing van onderwaterdrains bij een voldoende laag peil in het vroege voorjaar is het maaiveld droger en is het risico op afspoeling lager.

Toepassing van onderwaterdrains verlaagt naar verwachting de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en is daarmee een gunstige Kaderrichtlijn Water maatregel.

5.2.3 Broeikasgasemissie

Een steeds belangrijker aspect van de veenafbraak is de CO₂ emissie (van den Akker en Hendriks, 2014), die bij veengronden in landbouwkundig gebruik ca. 20 ton per ha per jaar is. De totale CO₂ emissie in Nederland door oxidatie van veengronden is ca. 4,2 Mton per jaar, waarbij nog 0,4 Mton CO₂ equivalent aan N₂O emissie kan worden toegevoegd. In totaal is dit ca. 2,5% van de nationale antropogene CO₂ emissie. Net als de maaiveldddaling dreigt de CO₂-emissie eind deze eeuw bijna te verdubbelen. Om de CO₂-emissiereducties die door de Europese Unie worden opgelegd te halen wordt het beperken van veenoxidatie een steeds urgentere zaak.

Er zijn geen directe metingen bekend van de effecten van onderwaterdrain op de broeikasgasemissie (STOWA, 2015). De afname van de veenoxidatie (C-mineralisatie) is een op een te vertalen in een vermindering van de CO₂-emissie, maar is zelf moeilijk te meten. De afname van de maaiveldddaling is wel te meten, maar dit is niet te vertalen in een afname van de C-mineralisatie. Reden is dat de maaiveldddaling een grondmechanische component in zich heeft (ca. 20% van de daling). Een empirische relatie geeft een CO₂-emissie van 2259 kg CO₂ per ha per mm maaiveldddaling (Van den Akker *et al.*, 2008). Kuikman *et al.* (2005) berekende een N₂O-emissie als gevolg van mineralisatie van veen van 0,6 tot 1,0 kg N₂O per ha per mm maaiveldddaling. In CO₂-equivalenten (over 100 jaar) is dit 185-310 kg per ha per mm. Modelberekeningen van Hendriks *et al.* (2008a) laten voor een bemest (inclusief atmosferische N-depositie) veenweideperceel te KTC Zegveld een daling van de N₂O-emissie door OWD zien van 1,7 (50 cm drooglegging) tot 8,5 (30 cm drooglegging) kg N₂O per ha per jaar of van 530-2630 kg CO₂-equivalenten (over 100 jaar) per ha per jaar.

5.2.4 Waterbeheer en wateroverlast

Uit modelonderzoek van Alterra blijkt dat de extra hoeveelheid water die bij toepassing van onderwaterdrains in de winter moet worden uitgeslagen nihil is (Jansen *et al.*, 2009). Extreme regenval blijkt bij een situatie met onderwaterdrains niet te leiden tot een extra grote verhoging van het slootpeil. In het model werd uitgegaan van oppervlakkige afvoer via goed onderhouden greppels en greppelbuizen en een bepaalde hoeveelheid maaiveldberging in plassen (met en zonder drains hetzelfde). Zonder onderwaterdrains is de grond in het algemeen natter en heeft minder berging. Bij natte (verzadigde) grond gaat bij hevige neerslag het meeste water via het oppervlak naar de greppels en dan naar de sloot.

Op de inlaat in de zomer blijkt toepassing van onderwaterdrains wel een duidelijke invloed te hebben. Uit een modelstudie (Van den Akker *et al.*, 2011) blijkt dat de inlaat in gemiddeld droge tot zeer droge jaren met 10-15% toeneemt. De resultaten van de modelberekeningen blijken sterk afhankelijk van de toegestane peilvariaties. Het toelaten van ruime peilvariaties van 5 tot 10 cm kan extra in- en uitlaat sterk beperken. Ook spelen grootte en aard van de onderrand - kwel of wegzijging - een belangrijke rol.

Volgens de modelstudie van Hendriks *et al.* (2014) neemt bij grootschalige toepassing van onderwaterdrains in Peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen de waterinlaat op jaarbasis toe met 43 mm of 25% ten opzichte van de huidige situatie. Op de lange termijn wordt de inlaatbehoefte iets (5%) kleiner, omdat door maaiveldddaling de wegzijging afneemt of de kwel groter wordt. De bemaling neemt bij toepassen van onderwaterdrains op de korte termijn toe met 11% ten opzichte van de situatie zónder drains; na veertig jaar is er geen verschil meer. De wateroverlast als inundatie van minstens 10% van het areaal van Peilvak 9 neemt bij toepassen van onderwaterdrains uitsluitend toe in de laaggelegen gebieden waarin geen drains liggen. Bij extreme buien verhogen onderwaterdrains pieken in het slootpeil met 1-2 cm. Door het waterbeheer aan te passen aan het verwachte weer kunnen mét drains pieken beter worden verlaagd.

Onderwaterdrains leiden dus bij extreme regenval niet tot een extra grote verhoging van het slootpeil, maar de bemaling en de inlaat in droge zomers neemt wel toe.

Bron: Hendriks en Van den Akker, 2012 en Hendriks *et al.*, 2014.

5.3 Betekenis onderwaterdrains voor weidevogels

Een belangrijke vraag vanuit de praktijk is wat het effect is van onderwaterdrains op weidevogels. De bodem levert voedsel voor weidevogels in de vorm van wormen en larven. Belangrijk is dat deze tijdens het broedseizoen niet alleen aanwezig, maar ook bereikbaar zijn. Dat betekent niet te diep en geen hoge indringingsweerstand voor de snavel. De kritieke indringingsweerstand is echter niet breed wetenschappelijk onderzocht, waardoor geen eenduidige drempelwaarde aan te geven is (persoonlijke mededeling Deru, 2014). In de literatuur werden door Deru de volgende drempelwaarden gevonden met een factor 2 verschil : $< 250 \text{ N/cm}^2$ (Kleijn et al., 2011) en $< 125 \text{ N/cm}^2$ (Struwe-Juhl, 1995).

Op twee van de pilots-onderwaterdrains (Krimpenerwaard en Lopikerwaard) is in 2011 en 2012 door Landschapsbeheer Zuid-Holland onderzoek gedaan naar het effect van onderwaterdrains op de geschiktheid van de percelen voor de foeragering van weidevogels (Van den Akker *et al.*, 2013; Van der Zijden en Kruk, 2011; Kruk en Van der Zijden, 2013). De indringweerstand werd bepaald en er werden tellingen aan wormen en emelten verricht. De verschillen tussen percelen met en zonder onderwaterdrains bleken nihil te zijn. Uit het betreffende onderzoek bleek niet dat door onderwaterdrains de omstandigheden voor weidevogels verslechteren. Wel wijzen de onderzoekers op het mogelijke indirecte effect dat door de betere draagkracht vroeger uitrijden van mest ten koste gaat van de weidevogelkuikens.

In een onderzoek uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut in mei 2013 (Deru *et al.*, 2014) naar het effect van onderwaterdrains op biodiversiteit gaven de gemeten bodemindicatoren voor habitat en biodiversiteit geen signalen voor sterke veranderingen als gevolg van onderwaterdrains. Wel was er een significant hogere soortenrijkdom aan mijten. Dit geeft aan dat er een meer stabiele habitat is in de bodem, mogelijk als gevolg van de hydrologische buffering door de drains. Het totaal aantal wormen in de laag 0-20 cm was voor beide behandelingen hetzelfde. Maar door de iets drogere bovengrond bij onderwaterdrains was de indringingsweerstand hoger (voldeed aan bovengenoemde strengste norm van $< 125 \text{ N/cm}^2$) en zat ten opzichte van de controle een groter deel van de wormen in de laag 10-20 cm.

Onderwaterdrains geven een droger maaiveld met minder of geen water in de greppels wat nadelig kan zijn voor de toegankelijkheid van voedsel voor weidevogels door een hogere indringingsweerstand. Een belangrijk gunstig neveneffect kan zijn (niet onderzocht) dat door een verbetering van de draagkracht van de graszode meer geweid en minder gemaaid gaat worden. Wanneer melkveehouders door de drogere omstandigheden eerder in het groeiseizoen koeien kunnen gaan weiden wordt het maaiaandeel lager. Een verruiming van de beweidingmogelijkheden is wellicht gunstig doordat ingeschaard wordt bij een relatief laag opbrengstniveau (zeker in het vroege voorjaar) en dus een lagere grashoogte. Daarbij geven de mestflatten extra insecten en dus voedsel voor de kuikens en bieden de weidebossen (achtergebleven grasresten rond mestflatten) schuilmogelijkheden.

5.4 Aanleg vraagt maatwerk

Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Dit is het geval bij relatief hoge slootpeilen tussen de 40 à 60 cm –mv. Bij hogere slootpeilen dan 40 cm –mv leiden onderwaterdrains niet tot een verbetering van de ontwatering door een te gering drukverschil tussen het (hoge) grondwaterniveau en het slootpeil. Bovendien is dan het risico op afvoer van nutriënten uit de wortelzone groot. Bij lagere peilen dan 60 cm –mv is de toegevoegde waarde van drains gering. Het aanleggen van onderwaterdrains vraagt dus om maatwerk. De keuze van de drainafstand is iets minder kritisch dan de draindiepte. Een drainafstand van 6 m garandeert in de meeste gevallen een voldoende werking. Echter bij een lage horizontale waterdoorlatendheid, zoals dat het geval was bij het onderzoek in Warder dat in voorliggende rapport is beschreven, bleek een drainafstand van 4 m vereist. Het verdient aanbeveling om door specialisten een voorbereidend drainageonderzoek te laten verrichten om hier uitsluitel over te verkrijgen. De instelling van het slootpeil bepaalt het uiteindelijke drainerende en infiltrerende effect van de drains. Het op cruciale momenten (groot neerslagtekort of –overschot) meebewegen van slootpeilen met de grondwaterstanden moet voorkomen worden, omdat dit het drainerende en infiltrerende effect

sterk vermindert. Tegengestelde bewegingen van het slootpeil door bijvoorbeeld toepassing van dynamisch peilbeheer kan de werking van de drains versterken. Ook verdient de lengte van de drains aandacht. Met een toename van de lengte van de buizen neemt de werking af. Tot 300 m buislengte hebben de drains een nivellerende werking.

Aandachtspunten bij de aanleg van onderwaterdrains zijn volgens Van den Akker *et al.* (2013) als volgt:

1. Drooglegging mag maximaal 60 cm zijn.
2. Bovenkant drain moet minimaal 15 cm onder slootpeil liggen.
3. Bovenkant drain maximaal 25 cm onder slootpeil (ter voorkoming van te diepe drain).
4. Bovenkant drain minimaal 45 cm -mv (ter voorkoming van te ondiepe drain).
5. Bovenkant drain maximaal 75 cm -mv (ter voorkoming van te diepe drain).
6. Drainafstand mag maximaal 6 m zijn.
7. Drains die parallel langs sloot liggen moeten op minimaal 6 m afstand van de sloot liggen.
8. Drainlengte mag maximaal 300 m zijn (bij een draindiameter van 6 cm) voor de infiltratie.
9. Draindiameter moet minimaal 6 cm zijn.
10. Drainuiteinden bij de sloot moeten goed worden aangeven/gemarkeerd.

Van deze tien aandachtspunten levert de maximale drainlengte vaak het meeste discussie op (Van den Akker *et al.*, 2013). De aangegeven 300 m als maximum lengte geldt voor de infiltratie, die wordt bepaald door de gewasverdamping en eventuele wegzijging. Voor de drainerende functie van de onderwaterdrains is de neerslag van belang, waarbij veel meer water moet worden afgevoerd in een zo kort mogelijke tijd om de grond snel wat droger te krijgen na een natte periode. Uit de metingen volgde dat bij drainage na ca. 250 m lengte het effect van de drains op de verlaging van de grondwaterstand is gehalveerd. Dit pleit ervoor om de drains niet te lang te maken. In de praktijk bestaat echter de wens om langere drainlengten toe te passen, omdat aanleg in de lengterichting van een perceel veel aantrekkelijker is dan aanleg in de breedterichting van een perceel. Niet alleen wordt de aanleg goedkoper, maar het aantal eindbuizen dat in de sloot uitkomt wordt ook veel kleiner. Bij aanleg op droge grond bestaat ook de kans dat de insnijding nog lang voelbaar is bij berijding. Bij aanleg in de dwarsrichting levert dit dan ongemak op. Bij de aanleg moet er voor gezorgd worden dat de drains goed horizontaal liggen. Het is daarom van groot belang dat het laservlak goed horizontaal ligt. De afwijkingen in de hoogte van de drain mag niet groter zijn dan de halve diameter van die drains. Bij de aanleg van de drains moet de draagkracht voldoende zijn. Een slechte draagkracht beïnvloed duidelijk de kwaliteit van de aanleg.

Onderhoud van de sloot is essentieel om de drains goed te laten functioneren. Voor een goede infiltratie vanuit de sloot is het belangrijk dat de eindbuizen van de drains niet in de bagger liggen. Mocht het risico op instroming van bagger groot zijn, zoals dat ook op de proeflocatie in Warder het geval was, dan verdient het aanbeveling om de drains een meter in de sloot door te laten lopen, zodat het water via de drainomhulling de drain in – uitstroomt. Hierbij wordt op het eind van de drainbuis een dop geplaatst. Een nadeel is dat de losse draineinden moeilijk zichtbaar zijn bij slootonderhoud. Bij voorkeur moeten bij onderhoud de draineinden op de slootkant gehaald worden om beschadiging te voorkomen. Dit brengt extra arbeid met zich mee.

6 Economie onderwaterdrains

Voor de economie van onderwaterdrains is in dit hoofdstuk gebruik gemaakt van paragraaf 5.2.3 uit Van den Akker *et al.* (2013) waarin de economische haalbaarheid van onderwaterdrains uiteengezet is op basis van inzichten van een praktijknetwerk van melkveehouders, die onderwaterdrains op hun bedrijf hadden aangelegd. De resultaten zijn bijgesteld volgens de meest recente inzichten en uitgaand van een hoog slootpeil in de zomer van 40 cm –maaiveld, zoals dat voor de vermindering van maaiveldaling gewenst is. Hierbij is gebruik gemaakt van het adviesprogramma Veenwijzer (<http://www.wageningenur.nl/nl/product/VeenWijzer.htm>).

De relatief lange, smalle percelen in het veenweidegebied, met veelal één of meerdere greppels, staat het gebruik van grote landbouwmachines met een hoge capaciteit in de weg. Hierdoor zijn de loonwerkkosten relatief hoog en heeft het zoveel mogelijk weiden van melk- en jongvee de voorkeur. Een lager aantal staldagen bespaart kosten voor ruwvoerwinning en het uitrijden van drijfmest. In feite is hier sprake van een paradox; enerzijds bemoeilijkt vernatting de beweiding en anderzijds houdt beweiding de kosten laag. Relatief erg natte percelen zijn alleen maar goed te benutten wanneer hier voldoende areaal met een grotere drooglegging tegenover staat, omdat dit in natte perioden uitwijkmogelijkheden biedt om vee te laten weiden. Ook geeft dit meer ruimte voor het selecteren van het gewenste grasaanbod (hoeveelheid en kwaliteit) voor het weiden van het melkvee, wat belangrijk is voor het op peil houden van de melkproductie.

Voederwinning is relatief duur ten opzichte van weiden, door relatief hoge machine kosten, de benodigde arbeid en de kosten voor brandstof, die steeds hoger worden. In Van den Pol *et al.* (2013) is het effect op de arbeidsopbrengst (euro per 100 kg melk) berekend van de hoeveelheid vers gras die per melkkoe per jaar met weidegang wordt opgenomen. Hierbij werd weiden vergeleken met het op stal houden van melkvee en jongvee. In Tabel 15 staat per 200 kg droge stof hogere vers grasopname per koe per jaar in de range van 800 tot 1800 kg het economisch voordeel weergegeven in euro per ha.

Tabel 15

Voordeel weiden ten opzichte van opstallen (€/ha).

Verhoging opname vers gras (kg ds/koe/jaar)		Voordeel arbeidsinkomen (€/ha)
van	tot	
800	1000	83
1000	1200	68
1200	1400	57
1400	1600	50
1600	1800	44

De belangrijkste uitgangspunten om het economisch voordeel van onderwaterdrains te kwantificeren zijn de investeringskosten, de extra grasgroei en het aantal extra weidedagen die onderwaterdrains voor een bedrijfssituatie opleveren. Het aantal extra weidedagen werd volgens het praktijknetwerk onderwaterdrains ingeschat op 30 dagen. Vervolgens hangt het van de beweidingintensiteit af in hoeverre de extra dagen in een hogere grasopname tot uiting komen. Voor drie beweidingssystemen is de dagelijkse vers grasopname per koe ingeschat en is de totale vers gras opname berekend voor een situatie met en zonder onderwaterdrains.

De kosten en baten zijn uitgewerkt in Tabel 16. De kosten betreffen een investering in drainage van 1800 euro per ha met 6,5% jaarkosten. De baten betreffen extra grasproductie door het eerder bemesten van de eerste snede in het vroege voorjaar en extra weidedagen. Ingeschat is dat de extra grasproductie 500 kg droge stof per ha bedraagt. Het voordeel van de extra weidedagen is berekend

door de hoeveelheden uit Tabel 15 te vertalen naar arbeidsinkomen per ha op basis van de tarieven volgens KWIN (2012).

Tabel 16

Economisch voordeel onderwaterdrains (€/ha) bij een drainafstand van 6 m op basis van de tarieven volgens KWIN (2012).

Kosten		
Investering onderwaterdrainage	(€/ha)	1800,00
Jaarkosten 6,5% per 20 jaar	(€/ha)	117,00
Baten		
Extra grasbenutting	(kg ds/ha)	500
Besparing kosten aankoop maïs	(€/ha)	80,00
Voordeel voederwaarde weidegras	(€/ha)	23,15
Voordeel extra weidedagen	30 (€/ha)	67,85
Totaal voordeel	(€/ha)	171,00
Verschil	(€/ha)	54,00

Het uiteindelijke voordeel bedraagt 54 euro per ha bij 500 kg droge stof verschil in netto grasopbrengst en 30 extra weidedagen geldt voor een gemiddelde weerssituatie. In het algemeen wordt door het gebruik van onderwaterdrains de variatie in bedrijfsuitkomsten tussen weerjaren kleiner. Het risico voor extremere weerssituaties wordt zodoende kleiner.

De inschattingen van het praktijknetwerk, zoals die voor de uitwerking in Van den Akker *et al.* (2013) gebruikt zijn, waren gezien de onderzoeksresultaten in Warder (dit rapport) relatief positief. Onderwaterdrains leverden alleen winst in het aantal weidedagen bij Vast laag peil. Bij Vast hoog peil en Zomer- en winterpeil was daarentegen het aantal weidedagen aanmerkelijk kleiner door de geringe drooglegging van ongeveer 35 cm (zie paragraaf 4.5, Tabel 13). Dit levert tijdens natte perioden een ongunstigere situatie op (hogere grondwaterstanden) dan in de ongedraineerde situatie en daarmee een verlies aan arbeidsinkomen. Waarschijnlijk is in het praktijknetwerk uitgegaan van een drooglegging groter dan 40 cm –maaveld (wordt in Van den Akker *et al.*, 2013 niet aangegeven). Daarbij werd in het onderzoek te Warder, maar ook in eerdere onderzoeken, geen winst in bruto droge stofproductie van gras gerealiseerd. Dit komt vooral omdat de vermindering van nat- en droogteschade teniet gedaan wordt door een lagere stikstoflevering uit de bodem. De invloed van het graslandgebruik op de netto productie is niet onderzocht.

De kosten-baten berekening zoals die in Tabel 16 staat is nogmaals uitgevoerd voor de 30 extra weidedagen, zoals die door het praktijknetwerk is ingeschat, zonder extra netto grasproductie. De uitkomsten van de aangepaste berekening staan in Tabel 17.

Tabel 17

Economisch voordeel onderwaterdrains (€/ha) zonder extra grasbenutting en alleen extra weidedagen.

Kosten		
Investering onderwaterdrainage	(€/ha)	1800,00
Jaarkosten 6,5% per 20 jaar	(€/ha)	117,00
Baten		
Extra grasbenutting	(kg ds/ha)	0
Besparing kosten aankoop maïs	(€/ha)	0,00
Voordeel voederwaarde weidegras	(€/ha)	0,00
Voordeel extra weidedagen	(€/ha)	67,85
Totaal voordeel	(€/ha)	67,85
Verschil		
Arbeidsinkomen	(€/ha)	-49,15
Dekking van de kosten	(%)	58

Zonder netto productieverhoging van gras worden de jaarlijkse kosten van onderwaterdrains niet gecompenseerd door landbouwkundige voordelen. Bij 30 extra weidedagen bedraagt het financiële tekort ongeveer 40%. Dat betekent dat het tekort aan baten op een andere manier gefinancierd moet worden wil een investering in onderwaterdrains voor melkveehouders aantrekkelijk zijn.

Om de economie van onderwaterdrains in te schatten voor de ongunstigere situatie in polder Zeevang (nauwere drainafstand en Zomer- en winterpeil) is met Veenwijzer de verandering van het arbeidsinkomen berekend. In Veenwijzer wordt gebruik gemaakt van schadepercentages die specifiek voor het westelijke veenweidegebied zijn berekend. Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd met Waterpas (De Vos et al., 2008). Met deze geavanceerde methode zijn de schadepercentages voor vernatting, verdroging en graslandgebruik berekend voor verschillende peilregimes, met en zonder onderwaterdrains op basis van tien weerjaren. Deze reeks van tien weerjaren (1992 – 2001) geeft een objectief beeld van de invloed van het weerbeeld op langere termijn.

Als uitgangspunt voor de economische berekeningen met Veenwijzer is gekozen voor een melkveebedrijf van 75 koeien, een bedrijfsareaal van 40 ha gras, 8500 kg melk per koe en weidegang met 7 kg bijvoeding per koe per dag. De resultaten zijn afhankelijk van de drooglegging in de uitgangssituatie, de eventuele verandering van drooglegging na aanleg van onderwaterdrains en de drainafstand. In de berekeningen is met deze factoren rekening gehouden en dit resulteerde in 6 varianten. Doorgaans kan met een drainafstand van 6 m worden volstaan, maar in Warder was een drainafstand van 4 m noodzakelijk. Voor beide drainafstanden zijn de 6 varianten doorgerekend. De kosten van onderwaterdrains bedragen ongeveer 1 euro per strekkende meter. Bij een drainafstand van 6 m is dit ongeveer 1800 euro per ha en bij een drainafstand van 4 m is dit ongeveer 2600 euro per ha (inclusief eindbuizen ed.). Voor de combinaties slootpeil en onderwaterdrains, waarbij verruiming van de beweidsmogelijkheden wordt voorzien, is een inschatting gemaakt van de vermindering van bijvoeding in kg per koe per dag (minder bijvoeding, meer grasopname). Deze verruiming van de beweiding was input voor de berekening. Voor de prijzen en tarieven is uitgegaan van de standaardwaarden in Veenwijzer (versie 2014.02). De resultaten staan in Tabel 18 en betreffen de jaarlijkse kosten voor onderwaterdrains, een verandering in arbeidsinkomen en het percentage dekking van de kosten.

Tabel 18

Resultaten economische berekeningen met Veenwijzer (2014.02) met de drooglegging in de situatie zonder en met onderwaterdrains en de verandering in dagelijkse bijvoeding van het melkvee (input), arbeidsinkomen (exclusief jaarlijkse kosten drains) en de dekking van jaarlijkse kosten. De varianten die in blauw zijn weergegeven zijn van toepassing op het onderzoek in polder Zeevang te Warder (voorliggend rapport). Daarbij betreft de aangegeven drooglegging van 60-40 cm het Zomer- en winterpeil.

Drooglegging (cm –maaiveld)		Verandering bijvoeding (kg/koe/dag)	Jaarlijkse kosten (€/jaar)	Arbeidsinkomen		Dekking jaarlijkse kosten (%)
Geen drains	Drains			(€/koe/jaar)	(€/ha/jaar)	
Drainafstand 6 m						
60	60	- 2 kg	117	86	59	50
60	40		117	23	-59	-51
60	60-40		117	30	-46	-39
40	40		117	36	-35	-30
40	60	- 2 kg	117	99	83	71
40	60-40	- 1 kg	117	71	31	26
Drainafstand 4 m						
60	60	- 2 kg	169	102	43	26
60	40		169	39	-75	-44
60	60-40		169	46	-62	-36
40	40		169	52	-50	-30
40	60	- 2 kg	169	115	68	40
40	60-40	- 1 kg	169	87	15	9

De resultaten geven aan dat de kosten voor onderwaterdrains niet gedekt worden of dat zelfs het arbeidsinkomen daalt. De hoogste dekking van de kosten wordt gehaald in situaties waarbij in de gedraineerde situatie de drooglegging 60 cm –maaiveld bedraagt, door verruiming van de beweidingmogelijkheden. Bij een drooglegging van 40 cm wordt het arbeidsinkomen lager. De jaarlijkse kosten zijn bij een drainafstand van 4 m aanmerkelijk hoger dan bij een drainafstand van 6 m, waardoor de dekking van de kosten lager is of waardoor het arbeidsinkomen nog verder daalt.

De variant, waarbij de drooglegging in zowel de gedraineerde als de ongedraineerde situatie 60 cm – maaiveld bedraagt, komt waarschijnlijk het meest overeen met de inschatting volgens het Praktijknetwerk uit Van den Akker *et al.* (2013). De berekende dekking van de kosten met Veenwijzer bedraagt 50% en benadert de berekende dekking van 58% uit Tabel 17.

Het financiële voordeel voor melkveehouders op de korte termijn moet vooral gerealiseerd worden in het verbeteren van de draagkracht van de graszode en het verminderen van droogte- en natschade. Bij een relatief hoog zomerpeil van 40 cm geven natte perioden in het groeiseizoen meer dagen met relatief hoge grondwaterstanden, waardoor het aantal weiddagen afneemt en de arbeidsopbrengst daalt in plaats van dat deze stijgt.

Een flexibelere invulling van de data of perioden, rekening houdend met de actuele weersomstandigheden, waarop de peilen binnen zomer- en winterpeil omhoog en omlaag gezet dienen te worden is gewenst (zie aanbevelingen Hoofdstuk 8) om wel de gewenste extra beweidingruimte te realiseren. Verondersteld wordt dat dan het zelfde economische resultaat behaald kan worden als bij de '40 – 60 varianten', namelijk een dekking van de kosten van 71% bij een drainafstand van 6 m en 40% voor een drainafstand van 4 m.

7 Conclusies

Effect onderwaterdrains bij verschillende peilregimes

- Zonder onderwaterdrains verschilde het grondwaterstandsverloop tussen de peilregimes nauwelijks. Dit betekent dat relatief lage slootpeilen de drainage niet of nauwelijks bevorderden en dat relatief hoge slootpeilen de infiltratie niet of nauwelijks bevorderden;
- Onderwaterdrains zorgden voor een significant vlakker verloop van de grondwaterstanden ten opzichte van de ongedraineerde situatie. Dat betekent dat de variatie in grondwaterstanden kleiner was.
- Onderwaterdrains hadden bij alle drie de peilregimes zowel een verlaging van de wintergrondwaterstand (extra drainage) als een verhoging van de zomergrondwaterstand (extra infiltratie) tot gevolg;
- De hypothese dat een zomer- en winterpeil met onderwaterdrains gemiddeld zowel de zomergrondwaterstand verhoogt als de wintergrondwaterstand verlaagt werd bevestigd.
- Het toepassen van een zomer- en winterpeil met onderwaterdrains had een significant geringere variatie in grondwaterstanden tot gevolg dan een vast hoog slootpeil en een vast laag slootpeil. De betere werking van onderwaterdrains bij een zomer- en winterpeil wordt echter toegeschreven aan een verschil in horizontale waterdoorlatendheid van de bodem tussen percelen, hoewel dit niet uit bodeminventarisaties naar voren kwam;
- Het onderscheid in het grondwaterstandsverloop tussen wel en geen onderwaterdrains kwam vooral tot uiting in perioden met een gering neerslagoverschot in de winter (winter 2012-2013) en een fors neerslagtekort in de zomer (zomer 2013). In het nattere jaar 2014 was het verschil in gemeten grondwaterstanden veel geringer.
- Onderwaterdrains verminderden bij een hoog slootpeil in het groeiseizoen de maaiveldddaling volgens berekeningen substantieel (30 – 50%). Dit is waarschijnlijk een te voorzichtige schatting, want hoogtemetingen op KTC Zegveld laten zien dat onderwaterdrains de maaiveldddaling nog sterker beperken. Wel zorgden onderwaterdrains bij een neerslagoverschot bij een geringe drooglegging voor extra vernatting. Daarentegen voerden onderwaterdrains bij een laag slootpeil wel extra water af.
- Toepassing van een zomer- en winterpeil is gunstig voor het verminderen van maaiveldddaling, maar dient onvoldoende het belang van melkveehouders, namelijk het voldoende verlagen van de grondwaterstand tijdens natte perioden (betere draagkracht graszode) en het verminderen van productieverlies van gras door vernatting in het groeiseizoen.
- Een flexibelere invulling van de data of perioden waarop de peilen binnen zomer- en winterpeil omhoog en omlaag gezet dienen te worden is gewenst (zie aanbevelingen Hoofdstuk 8). Hierbij moet rekening gehouden worden met de actuele weersomstandigheden.

Droge stof- en stikstofopbrengst gras

- Gemiddeld over beide proefjaren hadden het slootpeilregime en onderwaterdrains geen significant effect op de droge stof- en stikstofopbrengst van gras. Stikstofbemesting had (zoals verwacht mag worden) wel een sterk significant effect op de opbrengst;
- Tussen de jaren was het effect van peilregime, onderwaterdrains en stikstofbemesting op de droge stof- en stikstofopbrengst van gras significant verschillend (interactie):

- Een vast laag slootpeil (met en zonder onderwaterdrains) gaf in 2013 een relatief lagere droge stof- en stikstofopbrengst door meer droogteschade en in de 2014 een relatief hogere grasopbrengst door minder natschade.
- Onderwaterdrains gaven in 2013 lagere grasopbrengsten door minder stikstoflevering en in 2014 hogere droge stof- en stikstofopbrengsten door minder natschade. Een verband tussen hogere grondwaterstanden en een lagere stikstofopbrengst werd dus alleen in 2013 gevonden.
- Interactieverschillen tussen slootpeilregime en drainage werden niet gevonden.

Praktijktoeepassing onderwaterdrains (westelijk veenweidegebied met hoge slootpeilen)

Landbouw

- Een investering in onderwaterdrains is alleen interessant bij een voldoende drainerende werking tijdens een neerslagoverschot. Dit is vooral van belang in het vroege voorjaar en het najaar en tijdens natte perioden in de zomer. Door een verbeterde draagkracht van de graszode worden de gebruiksmogelijkheden van het grasland verruimd;
- De mate van drainage wordt sterk bepaald door de hoogte van het slootpeil;
- Het toepassen van een lager slootpeil in de winterperiode (50à 60 cm –maaiveld) versterkt de drainerende werking van onderwaterdrains in het vroege voorjaar en het late najaar. Door een droger maaiveld wordt vooral in het vroege voorjaar het risico op nutriëntenverlies na het uitrijden van drijfmest en kunstmest verkleind;
- Het toepassen van een hoger slootpeil in de zomer (30à 40 cm –maaiveld) versterkt de infiltrerende werking van onderwaterdrains en geeft minder risico op groeireductie van gras in droge perioden. Tijdens natte perioden blijkt een geringe drooglegging door een hoog slootpeil beperkend voor voldoende afvoer van water met onderwaterdrains;
- De grasproductie wordt door onderwaterdrains in natte perioden verhoogd door vermindering van natschade. Onder relatief droge omstandigheden is de stikstoflevering uit de bodem lager door een verminderde veenafbraak en dit verlaagt de grasproductie. Dit productieverlies wordt echter gecompenseerd door een betere stikstofbenutting uit mest;
- Droge(re) greppels geven in potentie een lagere leverbotinfectie bij rundvee en schapen;
- Op langere termijn nivelleren onderwaterdrains de maaiveldhoogte binnen een perceel.

Maatschappij

- Onderwaterdrains vergroten de infiltratie van water uit de sloot in het perceel waardoor de veenafbraak vermindert. Dit blijkt veel effectiever dan het verhogen van slootpeilen. In het algemeen is de verwachting dat onderwaterdrains de maaiveldddaling bij een zomerpeil van 40 cm –maaiveld tenminste halveren;
- Vermindering van veenafbraak vertaalt zich in een verlaging van het stikstofoverschot in de landbouw en een vermindering van broeikasgasemissie;
- Toepassing van onderwaterdrains verlaagt naar verwachting (modelberekeningen) de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit de bodem en is daarmee een gunstige Kaderrichtlijn Water maatregel. Bovendien vindt minder afspoeling van mest via greppels plaats door een droger maaiveld;
- Onderwaterdrains verruimen de gebruiksmogelijkheden van grasland bij een voldoende drooglegging en dit is gunstig voor weidegang van melkkoeien;
- Extreme regenval blijkt (modelberekeningen) bij toepassing onderwaterdrains niet te leiden tot een extra grote verhoging van het slootpeil. Wel neemt de inlaat van water op korte termijn

gemiddeld met 10-25% toe. Op de lange termijn wordt de inlaatbehoefte iets (5%) kleiner, omdat door maaiveldaling de wegzijging afneemt of de kwel groter wordt. De resultaten van de modelberekeningen blijken sterk afhankelijk van de toegestane peilvariaties. Het toelaten van ruime peilvariaties van 5 tot 10 cm kan extra in- en uitlaat sterk beperken.

Weidevogels

- Onderwaterdrains geven een droger maaiveld met minder of geen water in de greppels wat nadelig kan zijn voor de toegankelijkheid van voedsel voor weidevogels door een hogere indringingsweerstand. In eerdere onderzoeken werden hogere, maar geen te hoge weerstanden gemeten bij toepassing van onderwaterdrains;
- In onderzoeken tot nu toe werden geen systematische verschillen aangetoond in beschikbaarheid van regenwormen en emelten in het broedseizoen tussen wel en geen onderwaterdrains;
- Door toepassing van onderwaterdrains bij een voldoende drooglegging verbetert de draagkracht van de graszode waardoor meer geweid kan worden. Het aandeel maaien wordt dan automatisch lager. Een verruiming van de beweidingmogelijkheden is wellicht gunstig doordat koeien op relatief kort gras worden geweid (zeker in het vroege voorjaar). Daarbij geven de mestflaten extra insecten en dus voedsel voor de kuikens en bieden de weidebossen schuilmogelijkheden.

Economie onderwaterdrains

- De kosten van onderwaterdrains bedragen ongeveer 1 euro per strekkende meter. Bij een drainafstand van 6 m is dit ongeveer 1800 euro per ha en bij een drainafstand van 4 m is dit ongeveer 2600 euro per ha (inclusief eindbuizen ed.);
- Uit veldproeven blijkt vooralsnog niet dat grasproductie wordt vergroot. Vooral extra weidegang van melkvee geeft een beter economisch resultaat;
- Berekeningen geven als resultaat dat de kosten voor onderwaterdrains niet gedekt worden of dat zelfs het arbeidsinkomen daalt. De hoogste dekking van de kosten wordt gehaald in situaties waarbij in de gedraineerde situatie de drooglegging 60 cm –maaiveld bedraagt. Bij een drooglegging van 40 cm wordt het arbeidsinkomen lager;
- De jaarlijkse kosten zijn bij een drainafstand van 4 m aanmerkelijk hoger dan bij een drainafstand van 6m, waardoor de dekking van de kosten lager is of waardoor het arbeidsinkomen nog verder daalt;
- Ingeschat wordt dat bij een flexibelere invulling van een zomer- en winterpeil (zie eerdere conclusie en aanbevelingen Hoofdstuk 8) wel de gewenste extra beweidingruimte gerealiseerd wordt, waardoor de jaarlijkse kosten voor onderwaterdrains voor 71% worden gedekt bij een drainafstand van 6 m en voor 40% worden gedekt bij een drainafstand van 4 m;
- Op langere termijn zouden lagere kosten voor een betere vlakligging van percelen en een verlaagde infectiedruk van leverbot ook meegeteld moeten worden. Deze kosten zijn echter onbekend en lastig te kwantificeren.

8 Aanbevelingen

Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Een voldoende laag slootpeil is hierbij van groot belang. Het gebruik van onderwaterdrains om maaiveldddaling te verminderen vraagt echter om relatief hoge slootpeilen. Door variërende weersomstandigheden (tussen jaren en binnen jaren) komen vaste slootpeilen onvoldoende aan de tegengestelde eisen tegemoet. Voor de landbouw is bij het hanteren van hoge peilen in het groeiseizoen een dynamisch(er) peilbeheer gewenst om ook in perioden met veel neerslag het slootpeil te kunnen verlagen om zo daadwerkelijk profijt te hebben van onderwaterdrains. Uit de gemeten grondwaterstanden blijkt dat voor de landbouw alleen peilverlaging in de wintermaanden onvoldoende voordeel geeft.

In de overweging van het maatschappelijk belang van onderwaterdrains is de aanbeveling om de positieve effecten op lange termijn mee te wegen. Vanuit het perspectief van klimaatverandering wordt het maatschappelijk profijt van onderwaterdrains op lange termijn steeds groter. De temperatuur stijgt en het aantal langere droge perioden in de zomer neemt toe waardoor de maaiveldddaling naar verwachting eind van deze eeuw bijna verdubbelt (Van den Akker *et al.*, 2010, 2014). De kosten van maaiveldddaling zijn veel hoger dan in het algemeen wordt gedacht en nemen toe. Onderwaterdrains kunnen een belangrijk middel zijn om de kosten gepaard gaande met veenoxidatie, maaiveldddaling en CO₂ emissies binnen de perken te houden en het veenweidegebied economisch levensvatbaar te houden (van Hardeveld *et al.*, 2014).

Aanbevolen wordt om de bestaande pilots met onderwaterdrains na de proefperiode te blijven monitoren, ten minste voor wat betreft het effect op maaiveldddaling en het functioneren van de drains.

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007a. Maaiveldddaling, afbraak en CO2 emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming, Sdu, Den Haag, 32 blz.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, J.R. Mulder, 2007b. Invloed van infiltratiewater via onderwaterdrains op de afbraak van veengrond; Helpdeskvraag HD2057 Onderwaterdrains van Drunen 1106. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 1597.

Akker, J.J.H. van den, P.J. Kuikman, F. de Vries, I. Hoving, M. Pleijter, R.F.A. Hendriks, R.J. Wolleswinkel, R.T.L. Simões and C. Kwakernaak, 2008. Emission of CO2 from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. In: Farrell, C and J. Feehan (eds.), 2008. Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use – The Future of Peatlands, Vol. 1 Oral Presentations, Tullamore, Ireland, 8-13 june 2008. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks and M. Pleijter, 2012. CO2 emissions of peat soils in agricultural use: calculation and prevention. Proc. of the 19th Conference of the Int. Soil Tillage Res. Org. www.ISTRO.org

Akker, J.J.H. (Jan) van den, Rob Hendriks, Idse Hoving en Matheijs Pleijter, 2010. Toepassing van onderwaterdrains in veenweidegebieden. Effecten op maaiveldddaling, broeikasgasemissies en het water. Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), Utrecht, Landschap 27/3, 137-149

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, I.E. Hoving, J. van Kleef, B. Meerkerk, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2013. *Pilot onderwaterdrains Krimpenerwaard*. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2466.

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, 2014. Hogere grondwaterstanden voor veenweiden. Veenweiden: Aangepast watermanagement noodzakelijk voor beperking veenafbraak. Bodem 6-2014, blz 7-9

Deru, J., F. Lenssinck, I.E. Hoving, J. J.H. van den Akker, J. Bloem en N. van Eekeren, 2014. Effect onderwaterdrainage op bodemkwaliteit veenweiden. AgriMedia, Wageningen. V-focus juni 2014.

Hardeveld, H. van, M. van der Lee, J. Strijker, A. van Bokhoven, H. de Jong, 2014. Toekomstverkenning Bodemdaling, eindrapport fase 1. Rapport Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. 63 p.

Hendriks, R.F.A., Wolleswinkel, R.J. and Van den Akker, J.J.H., 2008a. Predicting greenhouse gas emission in peat soil depending on water management with the SWAP-ANIMO model. In: Farrell, C and J. Feehan (eds.), 2008. Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use - The Future of Peatlands, Vol. 1 Oral Presentations, Tullamore, Ireland, 8-13 june 2008. International Peat Society, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 583-586.

Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2354.

Hendriks, R.F.A., J.J.H. van den Akker, P.C. Jansen en H.Th.L. Massop, 2014. Effecten van onderwaterdrains in peilvak 9 van polder Groot-Wilnis Vinkeveen. Modelstudie naar de effecten van onderwaterdrains op maaiveldddaling, waterbeheer, wateroverlast en waterkwaliteit in peilvak 9. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2480.

- Hoving, I.E., G. André, J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2008. Hydrologische en landbouwkundige effecten gebruik 'onderwaterdrains' op veengrond. Animal Sciences Group van WUR, Lelystad. Rapport 102.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2011. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing 'onderwaterdrains' in polder Zeevang. Lelystad, Wageningen-UR Livestock Research. Rapport 449.
- Hoving, I.E., P. Vereijken, K. van Houwelingen en M. Pleijter, 2013. Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains bij dynamisch slootpeilbeheer op veengrond. Lelystad, Wageningen-UR Livestock Research. Rapport 719.
- Kleijn D, Lammertsma D, Müskens G (2011). Het belang van waterpeil en bemesting voor de voedselbeschikbaarheid van weidevogels pp. 41-60. In: Teunissen WA, Wymenga E (Eds.) 2011. Factoren die van invloed zijn op de ontwikkeling van weidevogelpopulaties. Belangrijke factoren tijdens de trek, de invloed van waterpeil op voedselbeschikbaarheid en graslandstructuur op kuikenoverleving. SOVON onderzoeksrapport 2011/10. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen. A&W-rapport 1532. Bureau Altenburg & Wymenga, Veenwouden. Alterra rapport 2187, Alterra Wageningen UR, Wageningen.
- Kroes, J.G. and J.C. van Dam (eds), 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 773. Reference Manual SWAP version 3.0.3.doc.
- Mulder J.R. en T.C. van Steenberg, 1995. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Zeevang Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Rapport 403, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Neijenhuis, F., J. Verkaik, C. Verwer, G. Smolders en J.P. Wagenaar, 2014. Integrale diergezondheid: beheersing van leverbot. Lelystad, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Report.
- Noord, T. van, 2012. Onderwaterdrainage in het veenweidegebied: Het effect van onderwaterdrainage op de draagkracht van de graszode. Stagerapport Christelijke Agrarische Hogeschool Dronten.
- Pol-Van Dasselaar, Van den A., A.P. Philipsen en M.H.A. de Haan, 2013. Economisch weiden. Livestock Research van Wageningen UR, Lelystad. Rapport 679 Woestenburg, M., 2009. Waarheen met het veen. Uitgeverij Landwerk, Wageningen en Alterra/Wageningen UR.
- Schils, R.L.M., M.H.A. de Haan, J.G.A. Hemmer, A. van den Pol-van Dasselaar, J.A. de Boer, A.G. Evers, G. Holshof, J.C. van Middelkoop en R.L.G. Zom, 2007. DairyWise, A Whole-Farm Dairy Model. Journal of Dairy Science, vol:90 iss:11 pag: 5334 -5346
- STOWA, 2015. <http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Onderwaterdrains.aspx?pId=71>
- Struwe-Juhl, B. (1995) Habitatwahl und Nahrungskologie von Uferschnepfen – Familien *Limosa limosa* am Hohner See, Schleswig-Holstein. Vogelwelt, 116, 61-72.
- Vos, J.A. de, P.J.T. van Bakel en I.E. Hoving, 2008. Waterpas nat- en droogteschadeberekeningen ten behoeve van landbouwkundige doelrealisatie. Wageningen, Alterra. Rapport 1653.
- VSN International (2012). GenStat for Windows 15th Edition. VSN International, Hemel Hempstead, UK. Web page: GenStat.co.uk.
- Zijden, A. van der en M. Kruk, 2011. Effecten van onderwaterdrainage op indringweerstanden en bodemfauna veenbodems. Landschapsbeheer Zuid-Holland, Waddinxveen.

Bijlage 1 Samenvatting onderzoek polder Zeevang 2007-2010

In polder Zeevang is in 2007 tot en met 2010 een praktijkexperiment uitgevoerd naar de toepassing van onderwaterdrains. Het doel was een veldexperiment op praktijkschaal naar het effect van onderwaterdrains op de zakking van veengrond en op de landbouwkundige productiemogelijkheden van grasland bij een slootpeil 60 cm –maai veld (mv). In dit rapport ligt de nadruk op de invloed van onderwaterdrains op het verloop van de grondwaterstanden en op de grasproductie. Daarnaast is voor een modelbedrijf een bedrijfseconomische berekening uitgevoerd om het effect te kennen van onderwaterdrains op het bedrijfsresultaat.

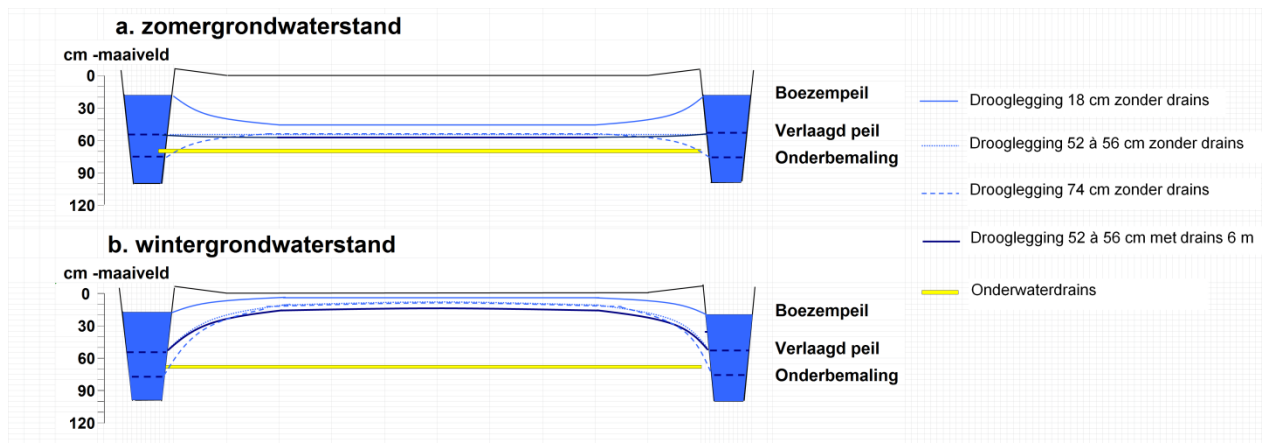
De onderwaterdrains liggen onder het slootpeil en niet zoals gebruikelijk erboven. De hypothese is dat hierdoor de grondwaterstanden gedurende het jaar nivelleren: 's winters lager en 's zomers hoger. Dit levert een voordeel op voor zowel de boer (vermindering vernatting) als voor de maatschappij (vermindering maaiveld daling). Om de effectiviteit van onderwaterdrains te onderzoeken werd op Praktijkcentrum Zegveld (2004–2007) een onderzoek uitgevoerd op proefveldniveau. De positieve resultaten van de eerste 2 jaar waren aanleiding om in polder Zeevang te onderzoeken hoe onderwaterdrains op praktijkschaal uit zouden pakken.

Veldonderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in polder Zeevang op de melkveebedrijven van de familie Bakker in Kwadijk en van de familie Steenman te Hobrede. Het bedrijf Bakker heeft, evenals veel omliggende bedrijven in Polder Zeevang, te maken met zeer hoge slootpeilen van minder dan 20 cm –mv. Hier werd het peil verlaagd tot 60 cm –mv, waarbij onderwaterdrains moesten zorgen voor compensatie van de extra maaiveld daling die hierdoor optreedt. Het bedrijf Steenman had daarentegen een onderbemaling van 80 cm –mv. Hier werd het peil verhoogd tot 60 cm –mv en onderwaterdrains toegepast om te zien of slootpeilverhoging negatieve consequenties heeft voor de bedrijfsvoering.

De hoofdbehandelingen bestonden uit drie verschillende slootpeilen: een boezempeil van minder dan 20 cm –mv, een slootpeil van 60 cm –mv en een onderbemaling van 78 cm –mv. Bij het peil van 60 cm –mv zijn onderwaterdrains toegepast op proefvakken in de breedterichting van het perceel (lengte 40 m) en op praktijkpercelen met een variatie in lengte, namelijk 120, 300 en 450 m. De draindiameter was 60 mm en de drainafstand was telkens ongeveer 6 m. Met peilbuizen werden op grote schaal tweewekelijks grondwaterstanden gemeten. Op de proefvakken (vier herhalingen) en de percelen met de oorspronkelijke peilen (twee herhalingen) werden per snede de grasopbrengsten bepaald (2007-2008) bij twee stikstofbemestingsniveaus, namelijk geen bemesting (N0) en praktijkbemesting (N1). De meetresultaten zijn statistisch getoetst. Voor de grondwaterstanden is als uitgangspunt genomen dat de grondwaterstand in grote lijn gedurende het jaar een cyclisch verloop heeft ('s zomers laag en 's winters hoog) en benaderd kan worden met een sinusoïde. De verschillen in modelparameters (amplitude, niveau en fase) tussen de behandelingen zijn getoetst. In figuur 1 zijn voor de verschillende behandelingen de hoogste en laagste gemiddelde gemodelleerde zomer- en wintergrondwaterstanden over de proefperiode van 2 jaar samengevat.

Figuur 1 Gemiddelde gemodelleerde zomer – en wintergrondwaterstanden bij verschillende droogleggingen en wel / geen onderwaterdrains (drainlengte 40 m) bij verlaagd peil (52 à 56 cm –maaveld)



Peilverlaging (± 35 cm) op het bedrijf Bakker had een relatief beperkt verlagend effect op de grondwaterstanden en peilverhoging (± 17 cm) op het bedrijf Steenman had onverwacht ook een verlagend effect op de grondwaterstanden, doordat het betreffende referentieperceel relatief nat bleek te zijn. De onderwaterdrains hadden bij alle behandelingen (drainlengtes 40, 120, 300 en 450 m) een extra verlagend effect in het winterhalfjaar ten opzichte van peilverlaging.

De werking van de drains nam af met de drainlengte. Tot 300 m was nog sprake van een nivellering van de grondwaterstanden (vlakker grondwaterstandsverloop). Bij het gehanteerde slootpeil draineerden de onderwaterdrains beter dan dat ze infiltreerden.

Naar verwachting (niet gemeten) zakt bij een peil van 35 cm –mv en het toepassen van onderwaterdrains de zomergrondwaterstand weinig verder uit dan bij een hoog peil van 15 à 20 cm –mv zonder drains en stijgt de wintergrondwaterstand tot een vergelijkbaar niveau als bij een lager peil van 50 à 55 cm –mv zonder drains.

De totale droge stofopbrengst van gras werd niet of nauwelijks beïnvloed door de behandeling wel of geen drains. Wel was er een verlagend effect van drainage op de stikstofopbrengst van enkele kilo's. De meetperiode was echter te kort om goed zicht te krijgen op het effect van onderwaterdrains op de grasopbrengsten en de stikstoflevering uit de bodem. Overigens lagen de resultaten betreffende het verschil in stikstofopbrengst wel in de lijn met de onderzoeksresultaten van het onderzoek op Praktijkcentrum Zegveld (Hoving *et al.*, 2008). Hier hadden onderwaterdrains een duidelijker verlagend effect op de drogestof- en stikstofopbrengst. Een lagere stikstofopbrengst betekent een verminderde stikstoflevering uit de bodem. Dit duidt op een vermindering van de veenafbraak. De maaiveldhoogte is jaarlijks gemeten, maar door de korte onderzoeksperiode kunnen we nog geen concrete uitspraken doen over het effect van onderwaterdrains op de maaivelddaling.

Economische bedrijfsberekening

Volgens de modelmatige economische bedrijfsberekening met Waterpas werden door het vergroten van de drooglegging van 20 naar 60 cm –mv de totale kosten met € 208,- per ha verlaagd. Een vergroting van 20 naar 80 cm –mv leverde een vergelijkbare kostenbesparing op van € 210,- per ha, maar de kosten kwamen wel anders tot stand. De voerkosten waren namelijk wat lager door een hogere zelfvoorziening van ruwvoer, maar de loonwerkkosten waren hoger door extra grasproductie. Het vergroten van de drooglegging naar 60 cm –mv in combinatie met het toepassen van onderwaterdrains leverde een kostenreductie op van € 82,- per ha, inclusief de jaarkosten voor onderwaterdrains ter grootte van € 165,- per ha. Exclusief de kosten voor onderwaterdrains zou de kostenbesparing € 247,- per ha bedragen. De zelfvoorziening voor ruwvoer was bij deze variant praktisch gelijk met die van de variant waarbij de drooglegging 80 cm –mv was, maar door een lager maaiaandeel werd een hogere kostenbesparing gerealiseerd. Tijdens natte perioden zijn bij toepassing van onderwaterdrains de beweidingsmogelijkheden namelijk net iets ruimer, waardoor de kostenbesparing groter is.

Praktijktoepassing

Een investering in drainage is voor boeren alleen aantrekkelijk wanneer de ontwatering substantieel verbetert. Dit is het geval bij relatief hoge slootpeilen tussen de 30 à 60 cm –mv. Bij hogere slootpeilen dan 30 cm –mv leiden onderwaterdrains niet tot een verbetering van de ontwatering door een te gering drukverschil tussen het (hoge) grondwaterniveau en het slootpeil. Bovendien is dan het risico op afvoer van nutriënten uit de wortelzone groot. Bij lagere peilen dan 60 cm –mv is de toegevoegde waarde van drains gering. Het aanleggen van onderwaterdrains vraagt dus om maatwerk. De keuze van de drainafstand is iets minder kritisch dan de draindiepte. Een drainafstand van 6 m garandeert in de meeste gevallen een voldoende werking. De instelling van het slootpeil bepaalt het uiteindelijke drainerende en infiltrerende effect van de drains. Het op cruciale momenten (groot neerslagtekort of –overschot) meebewegen van slootpeilen met de grondwaterstanden moet voorkomen worden, omdat dit het drainerende en infiltrerende effect sterk vermindert. Tegengestelde bewegingen van het slootpeil door bijvoorbeeld toepassing van een zomer- en winterpeil kan de werking van de drains versterken. Ook verdient de lengte van de drains aandacht. Met een toename van de lengte van de buizen neemt de werking af. Tot 300 m buislengte hadden de drains een nivellerende werking. Bij langere percelen zouden de buizen halverwege een keer onderbroken moeten worden om ze kort te sluiten met de sloot.

Bijlage 2 Drainage-advies proefpercelen

Drainage-advies proeflocatie onderwaterdrains Kooiweg 2, te Warder in polder Zeevang

Harry Massop en Matheijs Pleijter (Alterra), juni 2012

Bodemopbouw

De onderzoekslocatie ligt in Polder Zeevang ten noorden van Edam. Voor de proefpercelen is het bodemprofiel beschreven aan de hand van grondboringen. Hiertoe is met een Edelmanboor tot een diepte van 1,80 m –mv een gat geboord. Op één locatie is met een guts tot 7,80 m –mv. gestoken om een indruk te krijgen van de opbouw van de diepere bodemlagen. In het kader van een herinrichting is in 1995 een detailbodemkaart, schaal 1:10 000 (Mulder *et al.*, 1995), van het gebied gemaakt waar de proefpercelen deel van uitmaken. De profielbeschrijvingen (18 stuks) zijn uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) van Alterra beschikbaar gekomen. Tijdens het veldbezoek op 7 juni 2012 zijn 7 van deze locaties bezocht. Op deze locaties zijn boorgaten geboord, is het bodemprofiel beschreven, is de volgende dag, 8 juni 2012, de grondwaterstand en doorlatendheid gemeten. De ligging van proefpercelen is weergegeven in Figuur 1 en de ligging van de boorlocaties in Figuur 2.



Figuur 1 Ligging van de proefpercelen.



Figuur 2 Ligging van de boorlocaties.

De proefpercelen liggen op veengronden met en ca. 20 cm dik kleidek. Op een diepte van 1,20 – 1,40 m –mv. gaat het veen over in ongerijpte klei. De top van de kleiondergrond bestaat uit kalkloze rietklei, hieronder komt kalkrijke klei voor die wordt afgewisseld met zandlaagjes. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) wordt geschat op 0,65 – 0,75 m –mv, terwijl de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) wordt geschat op 0,15 – 0,25 m –mv. In tabel 1 is het bodemprofiel beschreven dat kenmerkend is voor de proefpercelen. Op de detailbodemkaart wordt het bodemtype als waardveengrond gepresenteerd. In de kleibovengrond is een dunne Ahg ontwikkeld, welke op de meeste plaatsen niet dikker is dan 10 cm. De Ahg gaat geleidelijk over in een Cg horizont die 3 – 5% organische stof bevat. Uit de profielbeschrijvingen is op te maken dat onder deze humeuze tot humusrijke laag een kalkloze zware kleilaag kan voorkomen. Tijdens het recente veldbezoek is deze zware kleilaag maar sporadisch aangetroffen, en in die gevallen betrof het een laag van 1 á 2 cm dik. Deze kleilaag, en het kleidek in het algemeen, zal een stagnerende werking hebben op infiltrerend regenwater. Om deze reden wordt de GHG geschat binnen 0,25 m –mv. Het veen onder de kleilaag is sterk verweerd. De verweerde laag is kleilig en roestig; plantenresten zijn niet herkenbaar. De beworteling van deze laag zal moeizaam gaan, aangezien deze horizont sterk gelaagd kan zijn. Ook in deze laag is de verticale doorlatendheid gering. Tot een diepte van 0,40 – 0,45 m –mv. is het veen

verweerd. De aanwezigheid van enige heide takjes en het gelaagde karakter van het veen kan wijzen op een herkomst van veenmosveen. Tussen 0,40 en 0,75 m –mv. is het veen minder sterk verweerd. De veensoort kan duidelijk worden afgeleid en bestaat uit zeggeveen. Dieper in het profiel wordt het veen geleidelijk rijker en gaat over naar rietzeggeveen naar rietveen. Vanaf een diepte van 0,65 – 0,75 m (afhankelijk van de locatie) raakt het veen abrupt gereduceerd. Op deze diepte wordt de GLG geschat. Op de overgang tussen het veen en de kleiondergrond komt een 0,05 – 0,10 m dikke bagger laag voor. De bagger bestaat uit geoxideerd kleiig rietveen en is zwart van kleur. De top van de kleiondergrond ligt op 1,10 – 1,40 m –mv. en bestaat uit zware ongerijpte kalkloze rietklei. Het aandeel riet neemt dieper in het profiel af en de klei wordt kalkrijk en minder zwaar van textuur. Tot tenminste 7,80 m –mv. zit een dik pakket ongerijpte kalkrijke klei. De klei wordt af en toe afgewisseld door dunne, 0,01 – 0,10 cm dikke zandlaagjes die bestaan uit kleiig zeer fijn zeezand. Deze zandige lagen hebben een wat grotere stevigheid dan de klei, maar zijn onvoldoende om een referentiehoogte op te funderen.

Tabel 1

Beschrijving het bodemprofiel.

Diepte [cm –mv]	Horizont	Organische stof [%]	Lutum [%]	Omschrijving	
0 – 10	1 Ahg	8	32	Humusrijke, kalkloze lichte klei met roestvlekken	
10 -15	1ACg	6	32	Humeuze, kalkloze lichte klei met roestvlekken	GHG
15 – 25	1 Cg1	4	32	Humeuze, kalkloze lichte klei met roestvlekken	
25 – 27	1 Cg2	1,5	36	Humusarme, kalkloze zware klei, weinig roestvlekken	
27 - 30	2 Cwg	45	36	Veraard, zwart, kleiig veen met roestvlekken	
30 - 35	2 Cw1	80		Sterk verweerd zwart veen	
35 - 40	2 Cw2	85		Verweerd, zwart veenmosveen.	
40 - 55	2 Cu1	75		Geoxideerd, donker bruin zeggeveen	
55 - 70	2 Cu2	70		Geoxideerd, donker bruin rietzeggeveen	GLG
70 - 110	2 Cr1	70		Gereduceerd roodbruin rietzeggeveen	
110 - 130	2 Cr2	65		Gereduceerd lichtbruin rietveen	
130 - 135	2 Cr3	40		Zwart kleiig bagger	
135 - 145	3 Cri1	5	38	Donkerblauw, slappe, kalkloze rietklei	
145 - 180	3 Cri2	1	26	Lichtblauw, slappe kalkrijke klei, afgewisseld met dunne zandlaagjes kleiig zeer fijn zand.	

Kenmerken van de veenlaag

Tijdens het veldbezoek op 8 juni 2012 is op dezelfde locaties het bodemprofiel beschreven. Dit maakt het mogelijk om de beschrijvingen 1 op 1 te vergelijken en te analyseren of er zich veranderingen in de bodem hebben voorgedaan. Hierbij is extra aandacht geschonken aan de dikte van de verweerde veenlaag en de dikte van het veenpakket. Er doet zich echter ook een verschil voor in de interpretatie van de klei bovengrond. In de kleibovengrond heeft zich een dunne Ahg horizont ontwikkeld. Onder deze A- horizont is een Cg horizont beschreven waarvan het geschat organische stofgehalte tijdens het recente veldbezoek iets hoger is geschat dan in 1995. Een "grijze" kleilaag, kenmerkend voor waardveengronden, is slechts op enkele plekken waargenomen, en dan betrof een dunne laag van enkele centimeters. Tijdens het veldbezoek in 1995 is op meerdere locaties een humusarme zware kleilaag beschreven tussen 0,05 en 0,25 m –mv. Echter ook in 1995 ontbrak de humusarme kleilaag op andere plekken. Het is dus onzeker of dankzij voortschrijdende (antropogene?) bodemvorming organische stof uit de ondergrond zich heeft vermengd met de kleilaag. De bovenste moerige horizont is sterk verweerd en bestaat uit kleiig veen. De dikte en aard van de verweerde horizonten wijkt niet zichtbaar af ten opzichte van 1995. Het kleiige, wat roestige veen gaat vrij abrupt over in verweerd (veenmos?) veen. Echt duidelijk herkenbaar wordt het veen pas op een diepte van ca. 0,35 m –mv. Overall is op die diepte arm zeggeveen aangetroffen. Opvallend is dat met de diepte het veen rijker van aard wordt en geleidelijk, maar gestaagd en consistent, overgaat in rietzeggeveen, zeggerietveen en uiteindelijk rietveen. Met de overgangen naar de verschillende veensoort neemt ook het aandeel minerale delen toe. De invloed van de zee nam kennelijk geleidelijk af, en uiteindelijk groeide het veen buiten de invloed sfeer van, eerst, zeewater en, daarna, grondwater uit, totdat het vervolgens

abrupt verdronk in het zeewater. De overgang tussen het veenpakket en de kleiondergrond bestaat uit zwart bagger waarin duidelijk rietresten herkenbaar zijn. Het is een soort modderklei die tijdens het verlandingsproces is ontstaan. De onderkant van het veenpakket is waargenomen tussen 1,15 en 1,40 m –mv. Er is geen duidelijk (geografisch-) patroon te herkennen in de diepte van de onderkant van het veenpakket. In 1995 lag de waargenomen diepte van het veenpakket tussen 1,30 m en dieper dan 1,50 m –mv. , terwijl de gemiddelde dikte van het veenpakket 1,15 m bedroeg, tegen 1,04 m tijdens het recente veldbezoek. De dikte van het veenpakket is tussen 1995 en 2012 met gemiddeld ruim 10 cm afgenomen, hetgeen neerkomt op een gemiddelde afname van 6 mm per jaar (tabel 2). Op locatie 2002 was in 1995 het veenpakket dieper dan het boorbereik (1,50 m) zodat hier het verschil onderschat wordt. Op locatie 2005 is de dikte van de kleilaag op het veen in 2012 0,10 m dunner dan in 1995. De diepte waarop het veen begint is in 2012 echter 0,10 m ondieper dan in 1995. Laat men deze twee locaties weg omdat de boorprofielen niet goed te vergelijken zijn, dan komt men op een gemiddelde maaiveld daling van 13 cm in 17 jaar, oftewel 7,6 mm per jaar.

Tabel 2

Dikte veenpakket in 1995 en 2012.

Locatie ID		Dikte veenpakket [cm]		Verschil [cm]	Opmerkingen
1995	2012	1995	2012		
36031	2001	105	90	-15	
36033	2002	122	115	-7	In 1995 veenpakket dieper dan 1,50 m (= boordiepte)
36076	2003	120	100	-20	
36045	2004	115	110	-5	
36059	2005	100	100	0	Dikte kleilaag in 2012 0,10 m dunner dan in 1995
36061	2006	120	105	-15	
36064	2007	120	110	-10	
Gemiddeld		114,6	104,3	-10,3	

Aard van de klei-ondergrond

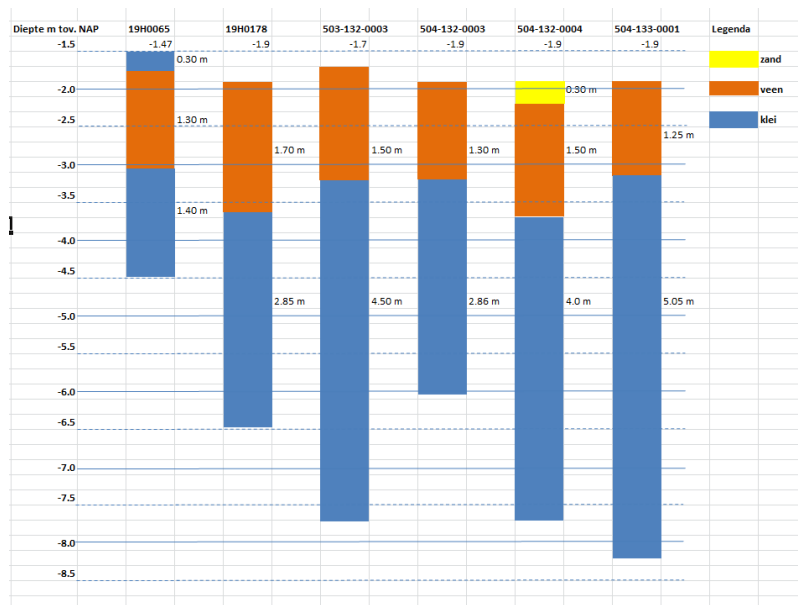
Deze modderkleien zijn vaak potentiële kattenkleigronden zoals in de droogmakerijen veel voorkomen. Of het hier ook potentiële kattenklei betreft is niet onderzocht. De baggerlaag is slechts dun (0,05 m) en daaronder komt een 0,10 – 0,20 m dikke kalkloze rietkleilaag voor. Ook deze horizont kan potentiële kattenklei bevatten. Onder de rietklei ligt echt een dik pakket kalkrijke kleiige afzettingen tot een diepte van tenminste 8 meter. Om een inschatting te maken van de diepere ondergrond zijn enkele diepere boringen in de omgeving van de meetlocaties geselecteerd uit het DINO-bestand van TNO (Figuur 3). Volgens Pons en Wiggers (1960) liggen de Pleistocene afzettingen in Polder Zeevang op een diepte van ca. 20 m –NAP. De doorlatendheid van de onderliggende kleilaag is niet gemeten. Aangenomen is dat deze aanmerkelijk lager is dan van de veenlaag, zodat de kleilaag niet bijdraagt aan de doorstroomde dikte. Hierdoor is de dikte van de equivalentlaag alleen afhankelijk van de dikte van de veenlaag.



Figuur 3 Locatie van zes diepere boringen in de omgeving van de meetlocatie (DINO-bestand TNO).

Maaiveldhoogte

In Figuur 4 is de maaiveldhoogte voor de percelen en de directe omgeving weergegeven. De maaiveldhoogte varieert globaal tussen -1.95 en -2.15 m t.o.v. NAP.



Figuur 4 Maaiveldhoogte proefpercelen en directe omgeving.

Boorgatmetingen

Op 8 juni 2012 zijn op 7 locaties binnen 3 percelen boorgatmetingen verricht (figuur 2) om de horizontale doorlatendheid vast te stellen (k-waarden). Voorafgaande aan de boorgatmetingen zijn op 7 juni op de geselecteerde locaties gaten geboord om de uitgangsgrondwaterstand vast te stellen. Op alle 7 locaties zijn boorgatmetingen uitgevoerd, door steeds op korte afstand 2 boorgaten te maken en daarin metingen te verrichten. Bij de eerste metingen is gebruik gemaakt van een filter om te voorkomen dat de vlotter niet vrij kon bewegen. Omdat bleek dat het boorgat goed in stand bleef is na enkele metingen afgestapt van het gebruik van het filter en is de vlotter direct in het open boorgat geplaatst. In Tabel 3 staan de resultaten van de metingen.

Tabel 3

Horizontale doorlatendheid (k-waarden) proeflocatie Warder in polder Zeevang.

Locatie	veld	X-coord	Y_coord	k _{gem}	k _{stddev}
36031-1	1	132388	504540	0.0313	0.0066
36031-2	1	132388	504540	0.0248	0.0052
36033-1	1	132656	504799	0.0583	0.0114
36033-2	1	132656	504799	0.0581	0.0099
36076-1	2	132603	504538	0.0360	0.0057
36076-2	2	132603	504538	0.0428	0.0025
36045-1	2	132185	504285	0.0278	0.0058
36045-2	2	132185	504285	0.0247	0.0041
36059-1	3	132318	504002	0.0244	0.0022
36059-2	3	132318	504002	0.0296	0.0022
36061-1	3	132608	504171	0.0300	0.0054
36061-2	3	132608	504171	0.0425	0.0045
36064-1	3	132903	504385	0.0709	0.0098
36064-2	3	132903	504385	0.0708	0.0094
veld 1				0.043	0.018
veld 2				0.033	0.008
veld 3				0.045	0.021
Gemiddeld				0.036	0.017

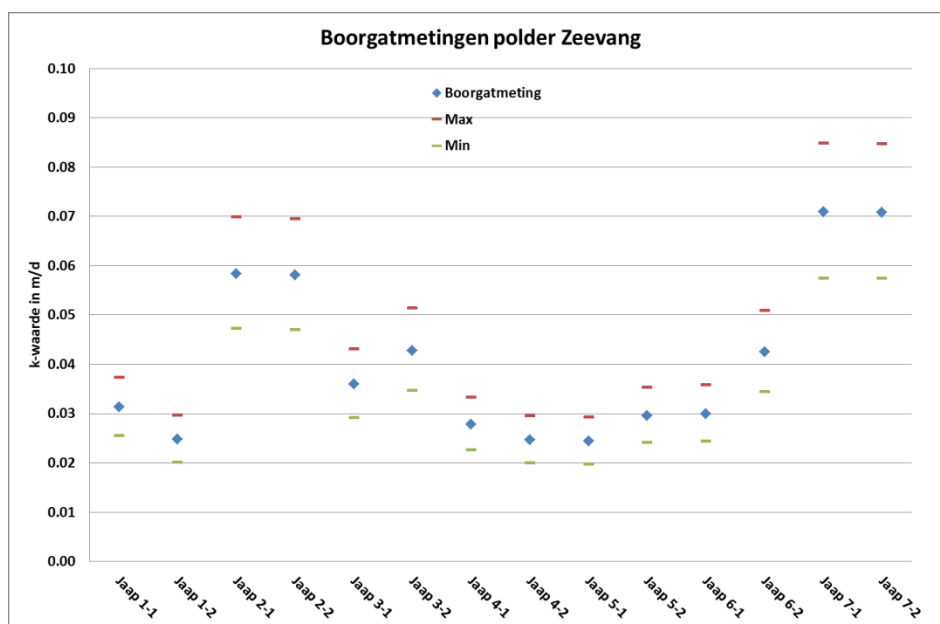
Om effecten van onnauwkeurigheid in de metingen op de resultaten inzichtelijk te maken is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd mbt boorgatstraal (r), boorgatdiepte (H) en de uitgangsgrondwaterstand (H_i). De variatie in gemeten k-waarden is gering en varieert van 2,5-7,0 cm/d. In Tabel 4 staan de resultaten van de gevoeligheidsanalyse.

Tabel 4
Resultaten gevoeligheidsanalyse.

Locatie	veld	k-waarde in m/d								
		referentie	r ¹ =3.5 cm	r=4.5 cm	Hi ² +5cm	Hi-5m	H ³ +5cm	H-5cm	Max	min
36031-1	1	0.0313	0.0255	0.0374	0.0291	0.0343	0.0329	0.0299	0.0374	0.0255
36031-2	1	0.0248	0.0201	0.0297	0.0232	0.0268	0.0259	0.0238	0.0297	0.0201
36033-1	1	0.0583	0.0473	0.0699	0.0528	0.0657	0.0607	0.0561	0.0699	0.0473
36033-2	1	0.0581	0.0471	0.0696	0.0522	0.0661	0.0604	0.0560	0.0696	0.0471
36076-1	2	0.0360	0.0292	0.0432	0.0339	0.0387	0.0376	0.0346	0.0432	0.0292
36076-2	2	0.0428	0.0347	0.0514	0.0398	0.0467	0.0447	0.0411	0.0514	0.0347
36045-1	2	0.0278	0.0226	0.0334	0.0253	0.0313	0.0290	0.0268	0.0334	0.0226
36045-2	2	0.0247	0.0200	0.0296	0.0229	0.0269	0.0257	0.0237	0.0296	0.0200
36059-1	3	0.0244	0.0198	0.0293	0.0230	0.0261	0.0255	0.0234	0.0293	0.0198
36059-2	3	0.0296	0.0242	0.0353	0.0271	0.0331	0.0311	0.0283	0.0353	0.0242
36061-1	3	0.0300	0.0244	0.0358	0.0274	0.0333	0.0314	0.0287	0.0358	0.0244
36061-2	3	0.0425	0.0345	0.0509	0.0382	0.0483	0.0442	0.0409	0.0509	0.0345
36064-1	3	0.0709	0.0575	0.0849	0.0661	0.0769	0.0742	0.0679	0.0849	0.0575
36064-2	3	0.0708	0.0575	0.0847	0.0640	0.0801	0.0739	0.0680	0.0847	0.0575
	veld 1	0.043	0.0350	0.0517	0.0393	0.0482	0.0450	0.0414	0.0517	0.0350
	veld 2	0.033	0.0266	0.0394	0.0305	0.0359	0.0343	0.0316	0.0394	0.0266
	veld 3	0.045	0.0363	0.1399	0.0410	0.0496	0.0467	0.0429	0.1399	0.0363
	Gemiddeld	0.036	0.0291	0.0862	0.0329	0.0398	0.0374	0.0344	0.0862	0.0291

¹ r is straal boorgat in cm
² Hi initiele grondwaterstand in cm-mv
³ H boorgatdiepte in cm

In Figuur 5 zijn de referentiewaarden en de minimum en maximum k-waarden uit de gevoeligheidsanalyse weergegeven.



Figuur 5 Gemeten k-waarde en gevoeligheid voor meetfouten.

Mulder en Steenbergen (1995) hebben eveneens boorgatmetingen gedaan in de omgeving van de onderzoekslocatie en zij vonden de volgende waarden voor locaties binnen de polder:

0,15 m/d voor arm zeggeveen op een locatie ten zuidwesten van de onderzoekslocatie
0,65 m/d voor rietzeggeveen op een locatie ten zuidwesten van de onderzoekslocatie
0,05 m/d voor veraarde venige klei op een locatie ten zuiden van de onderzoekslocatie
0,15 m/d voor arm zeggeveen op een locatie ten zuiden van de onderzoekslocatie
0,17 m/d voor veenmosveen op een locatie ten noorden van de onderzoekslocatie
0,35 m/d voor zeggeveen op een locatie ten noorden van de onderzoekslocatie

De metingen op de onderzoekslocatie zijn uitgevoerd in rietzeggeveen (Tabel 1). Mulder vindt voor rietzeggeveen op een andere locatie een duidelijk hogere waarden nl 0,65 m/d.

Eerdere metingen nabij Kwadijk en Hobrede gaven de volgende k-waarden:

0,13-0,17 m/d voor veenmosveen te Kwadijk
0,40-0,80 m/d voor zeggeveen te Kwadijk
0,07 m/d voor zegge- en rietzeggeveen te Hobrede.

De gevonden k-waarde is duidelijk lager dan de waarde gevonden door Mulder. Maar lijkt wel op de waarde gevonden te Hobrede.

Wat verder opvallend was dat het boorgat goed in stand bleef, dit was op andere locaties niet het geval, daar kon niet onverbuisd worden gemeten.

Drainageadvies

Eisen: Uitholling(m) max. 10 cm

Infiltratie dient de verdamping te compenseren, verdamping maximaal 5 mm/d, gemiddeld over

een decade lijkt een aanvulling van 3 mm/d (verdamping – neerslag-berging) een redelijke aanname.

Verdere aannamen: $D = 1,0$ m (dikte veenlaag)
 $k_1 = 0,04$ m/d (gemiddelde van alle metingen)
 $k_2 = 0,04$ m/d (gemiddelde van alle metingen)

De formule van Hooghoudt toegepast op een infiltratiesituatie, d.w.z. omgekeerde drainage. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de formule van Hooghoudt bij voorkeur wordt toegepast als de doorlatendheid van de bovenste laag groter is of gelijk is aan die van de onderste laag, hetgeen we hier aannemen.

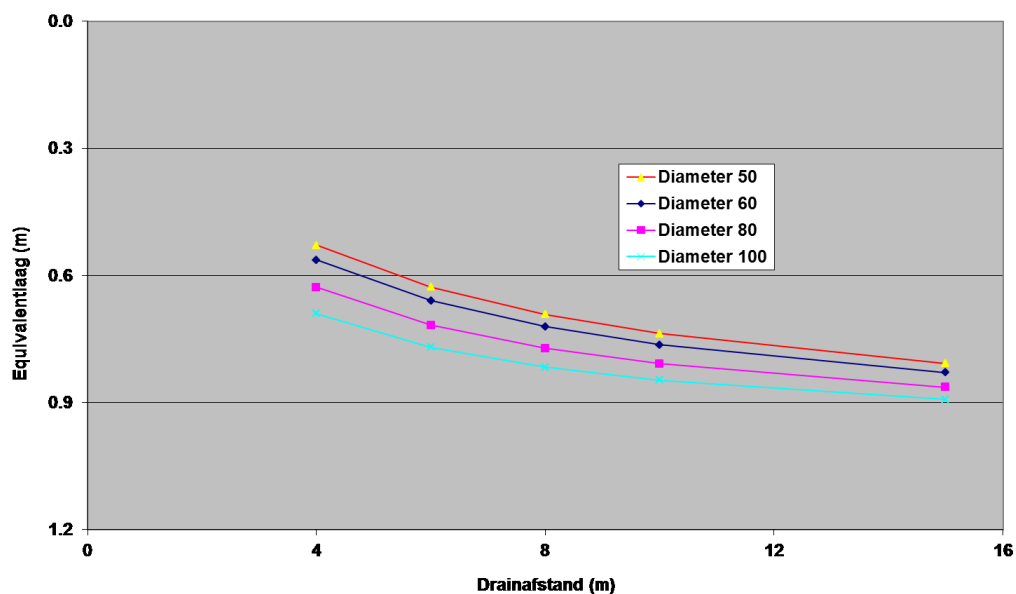
De dikte van de equivalentlaag d is te bepalen met:

$$d = \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{\pi}}$$

De drainafstand (L) in relatie tot opbolling (m) en infiltratie (q) is te bepalen met:

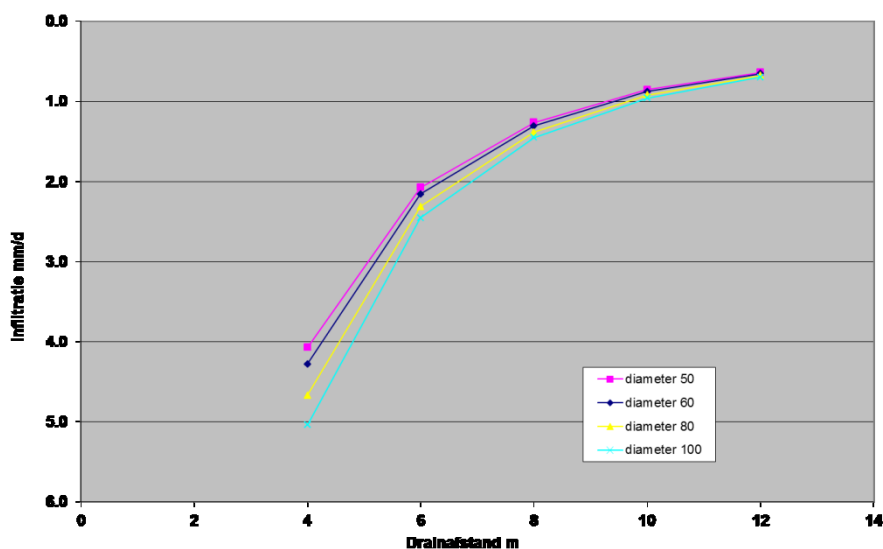
$$L^2 = \frac{8k_2 dm + 4k_1 m^2}{q}$$

Voor diameters van 50, 60, 80 en 100 mm en voor drainafstanden variërend van 4-15 m is de equivalentlaagdikte berekend (Figuur 6). De dikte van de equivalentlaag is in de orde van 0,5-0,9 m afhankelijk van de drainafstand en diameter.



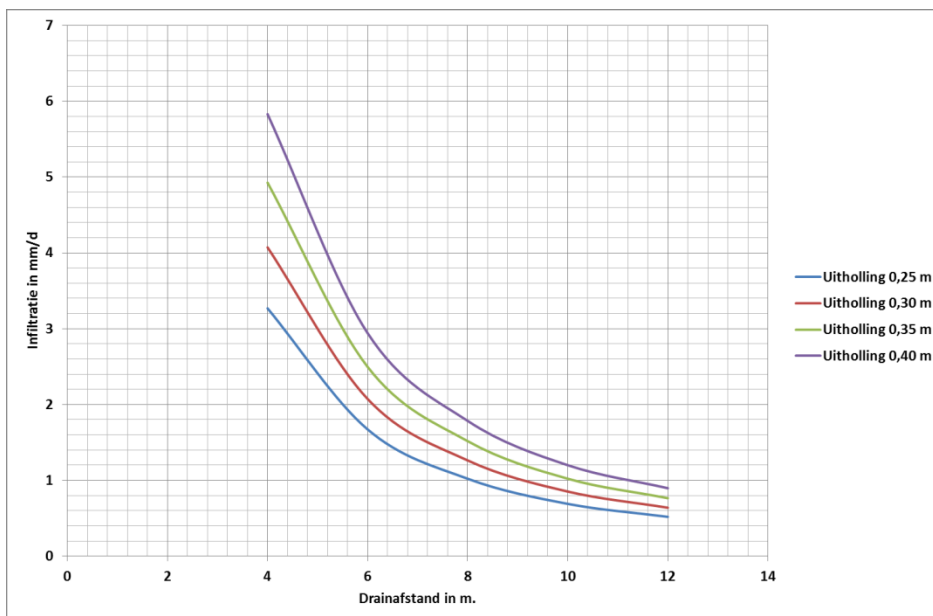
Figuur 6 Dikte equivalentlaag bij verschillende drainafstanden en draindiameters.

De relatie tussen infiltratie en drainafstand voor verschillende draindiameters is weergegeven in figuur 9. Gezien de geringe k-waarde is de infiltratie beperkt. Om te kunnen voldoen aan een infiltratie van 3 mm/d, kunnen verschillende combinatie van drainafstand en uitholling worden beproefd. De relatie tussen infiltratie en drainafstand voor verschillende draindiameters bij een uitholling van 30 cm is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 Relatie tussen infiltratie en drainafstand bij verschillende draindiameters.

Bij een uitholling van 0,25 m wordt bij een drainafstand van 4 m voldaan aan infiltratie van 3 mm/d. Bij grotere uitholling zijn grotere drainafstanden mogelijk (Figuur 8).



Figuur 8 Relatie tussen infiltratie en drainafstand bij verschillende uithollingen en draindiameter van 50 mm

Een uitholling van 25 cm is te gering om een infiltratie van 3 mm/d te realiseren bij 6 m drainafstand, alleen bij 4 m drainafstand wordt 3 mm/d gerealiseerd. Een uitholling van 40 cm voldoet om een infiltratie van 3 mm/d te realiseren bij een drainafstand van 6 m, bij grotere drainafstanden wordt de 3 mm/d niet bereikt. Bij grotere draindiameters, bij 100 mm, kan ook bij geringere uitholling van 35 mm voldaan aan infiltratie van 3 mm/d bij een drainafstand van 6 m.

Om een infiltratie van 3 mm/d te realiseren dienen dus relatief korte drainafstanden te worden gehanteerd. Uitgaande van een infiltratie van 3 mm/d en een maximale uitholling van 25 cm, zou een drainafstand van ca. 4 m dienen te worden gehanteerd bij draindiameters van 60-80 mm. Hierbij zouden de drains op 60-70 cm-mv kunnen worden gelegd. De drooglegging in veengebieden is meestal ca. 40 cm-mv. In de winter staat de grondwaterstand in het maaiveld en wordt een deel van het neerslagoverschot via maaiveldgreppels afgevoerd.

Conclusies:

- De gevonden k-waarde voor rietzeggeveen is relatief laag in vergelijking met metingen van Mulder (1995), als gemiddelde voor de berekeningen met Hooghoudt is 4,0 cm/d aangehouden.
- Bij toepassing van onderwaterdrainage geeft de formule van Hooghoudt aan dat: uitgaande van een benodigde infiltratie van 3 mm/d en een maximale uitholling van 25 cm een drainafstand van 4 m zal voldoen, voor verschillende draindiameters van 50-80 mm. Omdat door de geringe doorlatendheid de uitholling relatief groot is, dienen de drains niet te diep te worden gelegd. Afhankelijk van het polderpeil zouden de drains op 50-60 cm-mv kunnen worden gelegd.
- Aan de vooraf gestelde eis van maximale uitholling van 10 cm kan niet worden voldaan.
- Door het hoge ontwateringsniveau kunnen grondwaterstanden tot in maaiveld voorkomen. De maaiveldafvoer wordt bevorderd door het bol leggen van het perceel. Ook bij toepassing van buisdrainage is bol leggen van het perceel aan te bevelen, met maaiveldgreppels boven de drains.
- In droge situaties (zomer) zal bij een diepe drooglegging het veen versneld worden afgebroken, dit vergt een zorgvuldig peilbeheer om dit proces tegen te gaan.

Literatuur

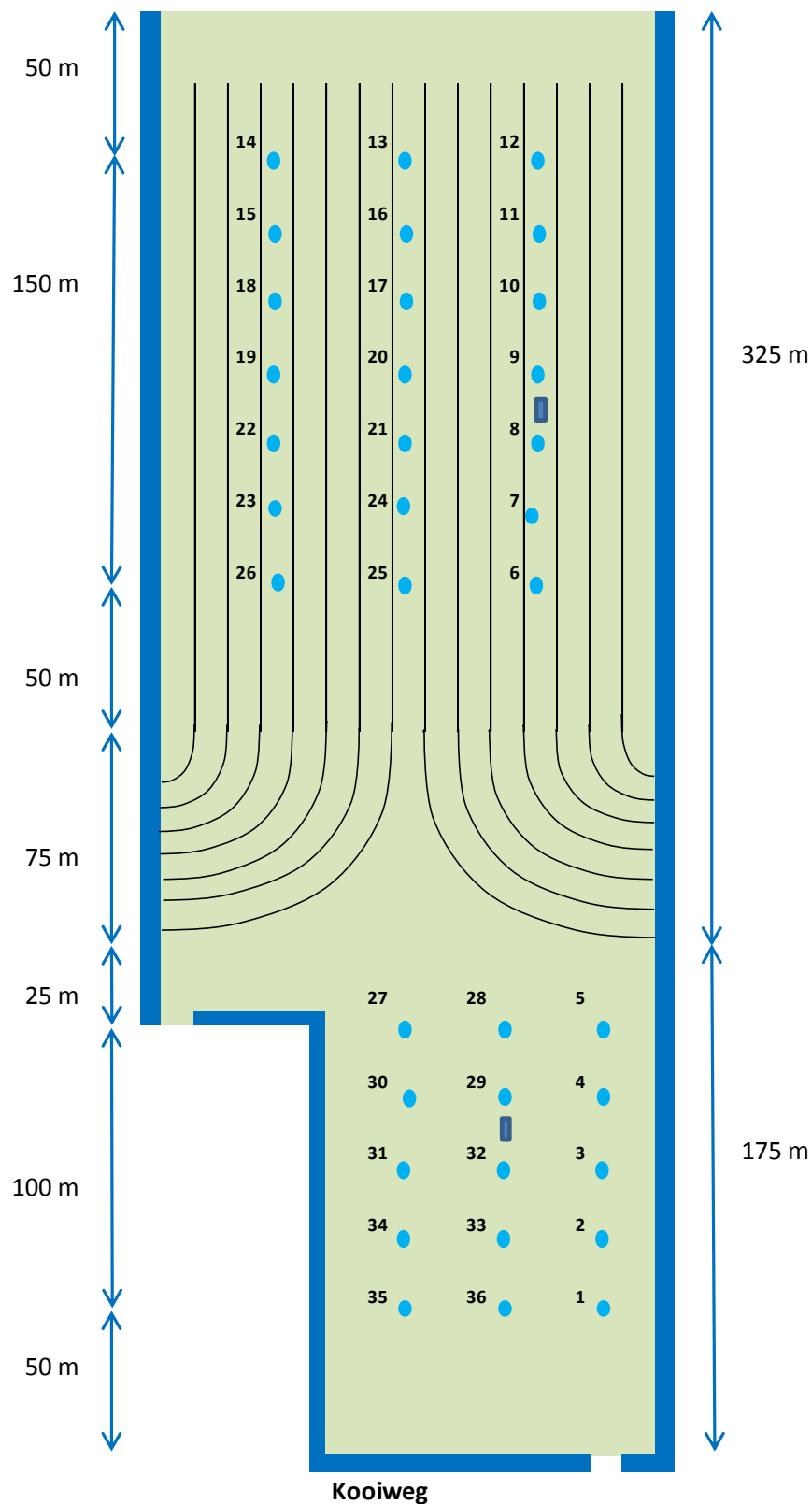
Mulder J.R. en T.C. van Steenberg, 1995. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Zeevang Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. Rapport 403, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bijlage 3 Plattegrond proefpercelen

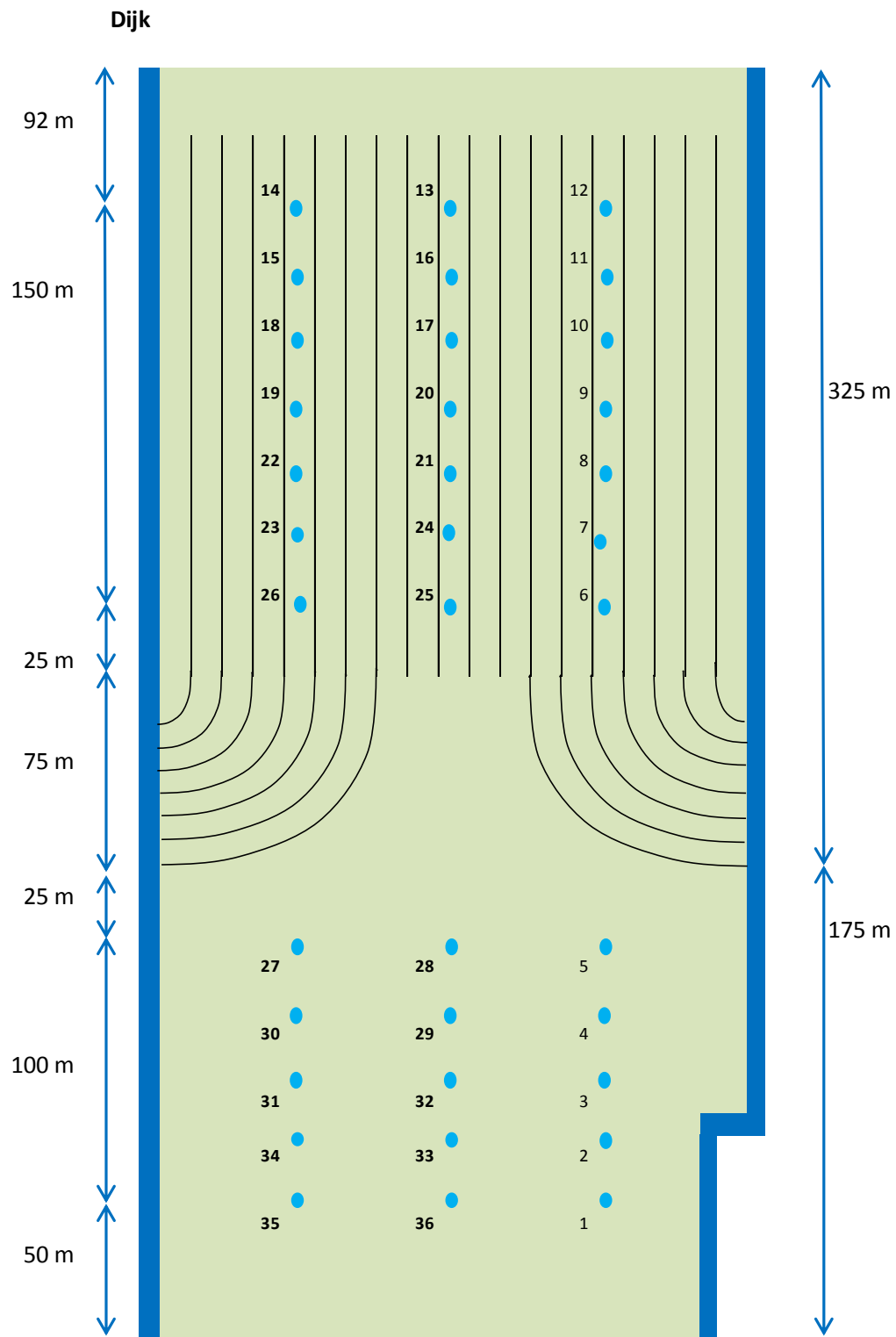
Perceel 9.1

Winterpeil (cm -mv): 60

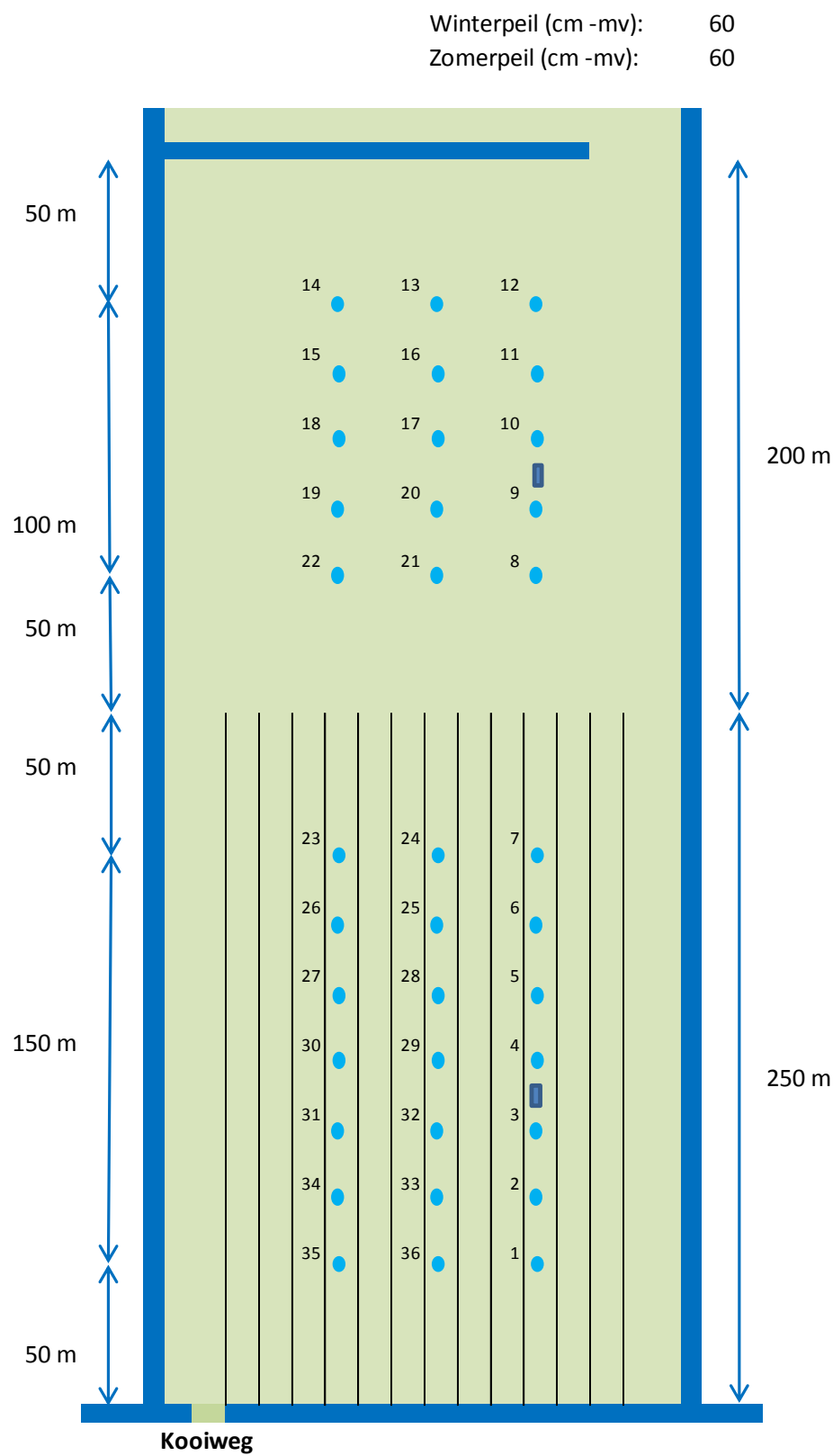
Zomerpeil (cm -mv): 40

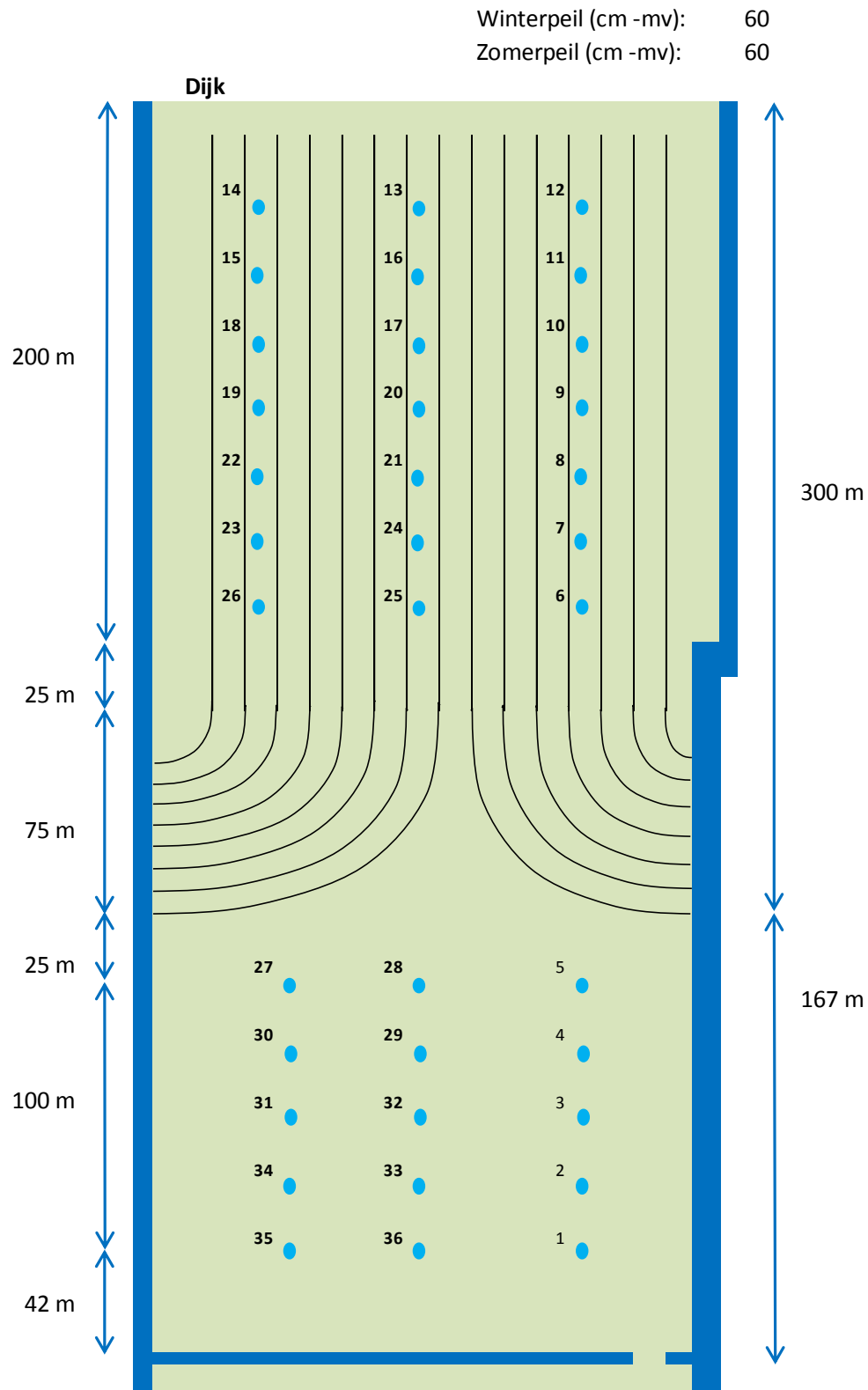


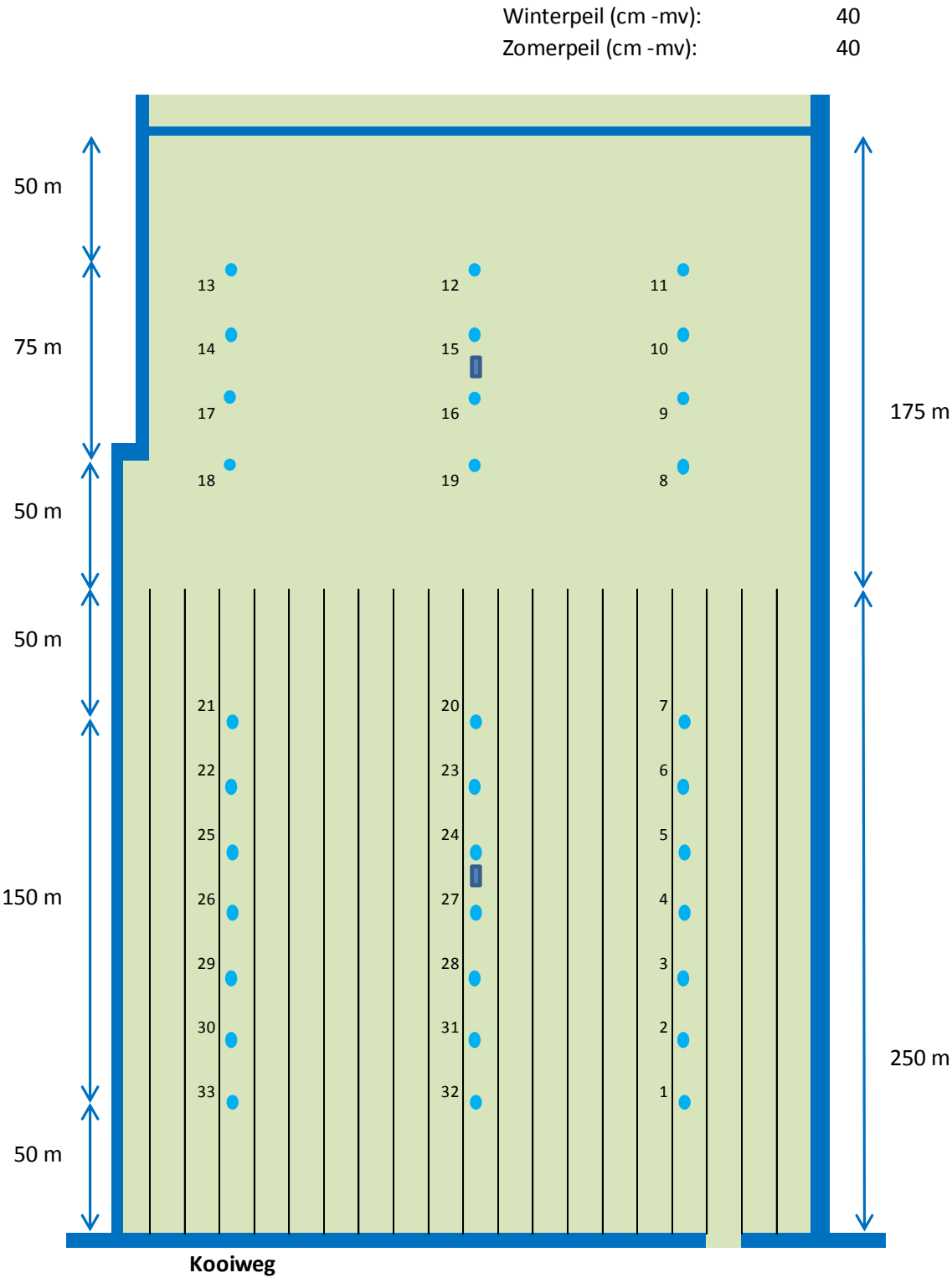
Zomerpeil (cm -mv): 40

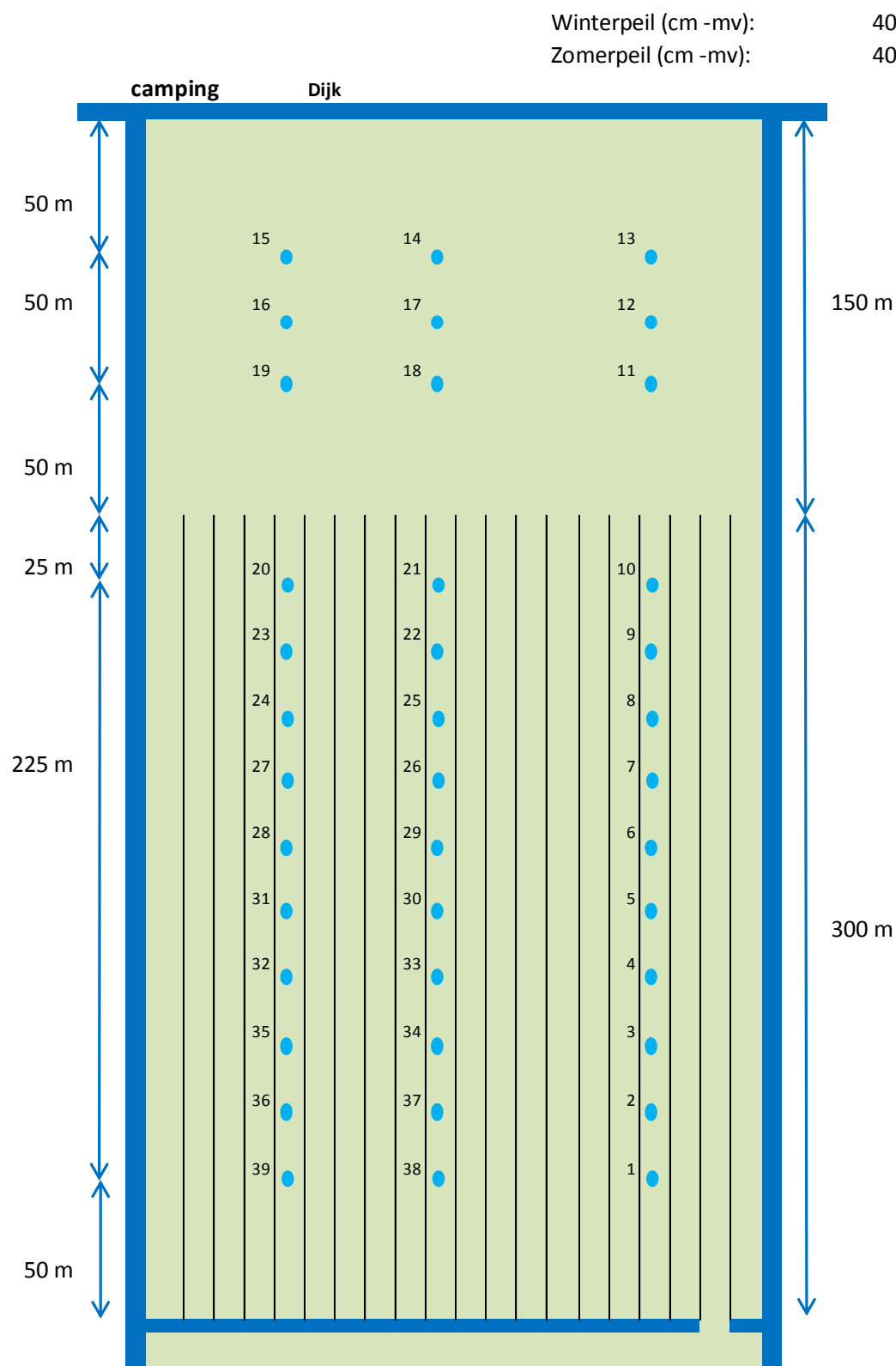


Perceel 12









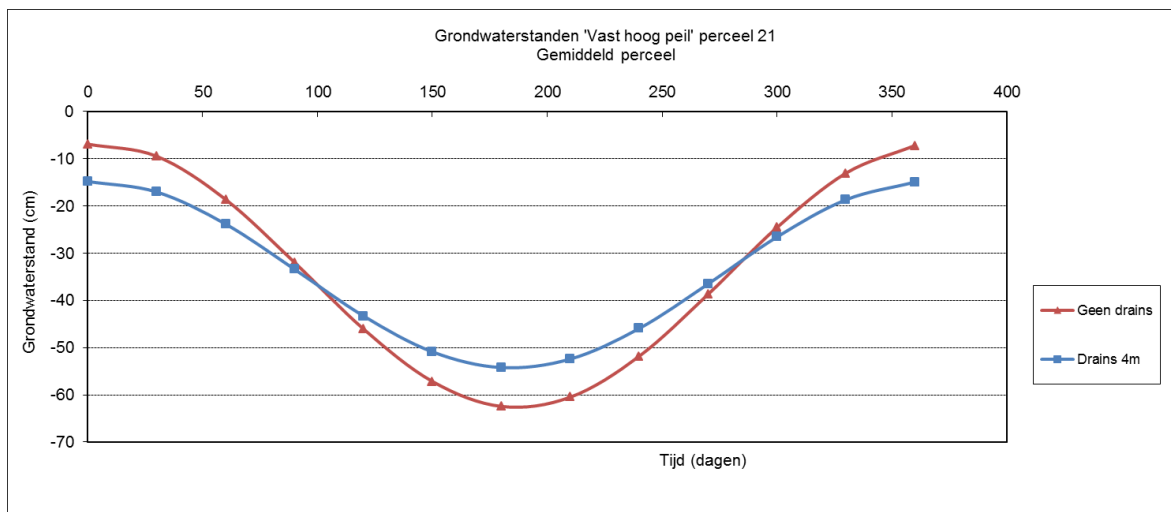
Bijlage 4 Statistische analyse grondwaterstanden

Tabel 1 Per perceel schattingen van de parameters amplitude (A) en niveau (N) en fase (P) van de gefitte sinusoïde curves op de gemeten grondwaterstanden per drainbehandeling (wel en geen drains) en P-waarden van de statistische toetsing (ANOVA) voor de drainbehandeling en de interactie tussen de drainbehandeling en de raai (3) waar de grondwaterstanden binnen het perceel werden gemeten.

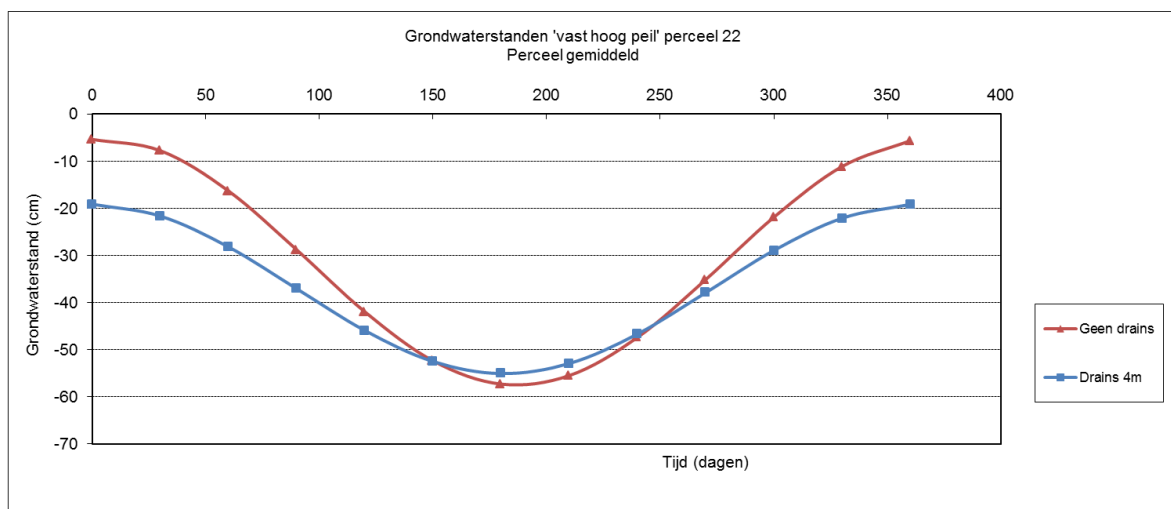
Binnen het perceel werden gemeten.					
	Perceel	Gemiddelde		P-waarden	
		Geen drains	Drains	Drains	Drains.Raai
Amplitude (A)					
Vast hoog peil	21	27,9	19,7	<0,001	0,075
	22	26,1	18,0	<0,001	<0,001
Zomer- en winterpeil	9.1	25,9	11,0	<0,001	0,004
	9.2	29,4	7,8	<0,001	0,522
Vast laag peil	12	29,3	21,5	<0,001	0,465
	13	29,6	19,4	<0,001	0,087
Nivo (N)					
Vast hoog peil	21	-34,8	-33,5	0,025	<0,001
	22	-31,4	-33,0	0,143	0,576
Zomer- en winterpeil	9.1	-32,7	-36,5	0,003	0,161
	9.2	-34,1	-43,3	<0,001	0,109
Vast laag peil	12	-34,8	-41,8	<0,001	<0,001
	13	-36,9	-41,6	<0,001	0,508
Fase (P)					
Vast hoog peil	21	369,6	367,1	0,002	0,005
	22	369,6	363,9	<0,001	0,458
Zomer- en winterpeil	9.1	372,8	363,7	<0,001	0,029
	9.2	375,7	351,7	<0,001	0,208
Vast laag peil	12	376,8	372,4	<0,001	0,051
	13	375,0	366,7	<0,001	0,201

Bijlage 5 Gemodelleerde grondwaterstanden

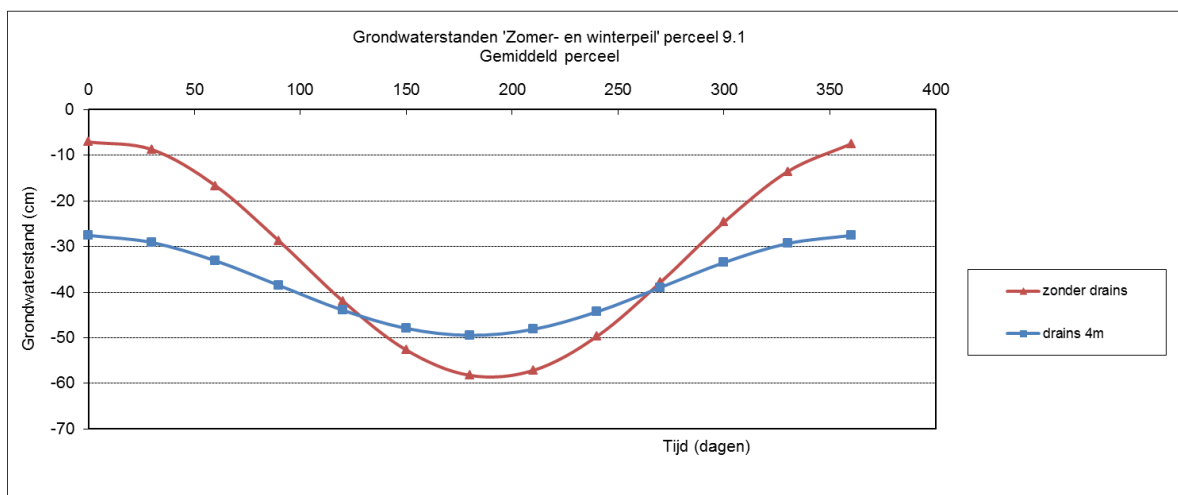
Vast hoog peil



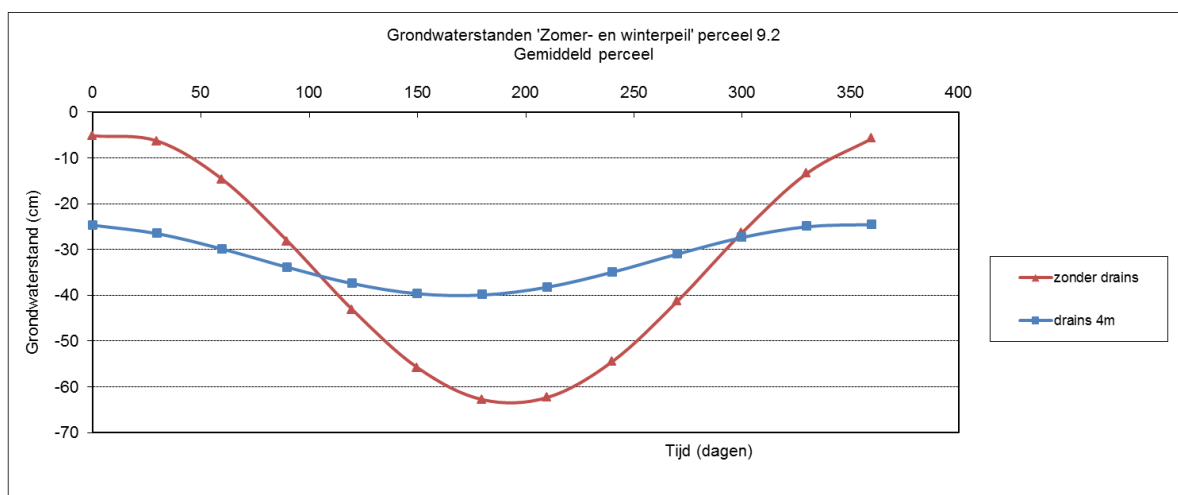
Figuur 1 Gemodelleerde grondwaterstanden perceel 21 zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m (cm -maaiveld).



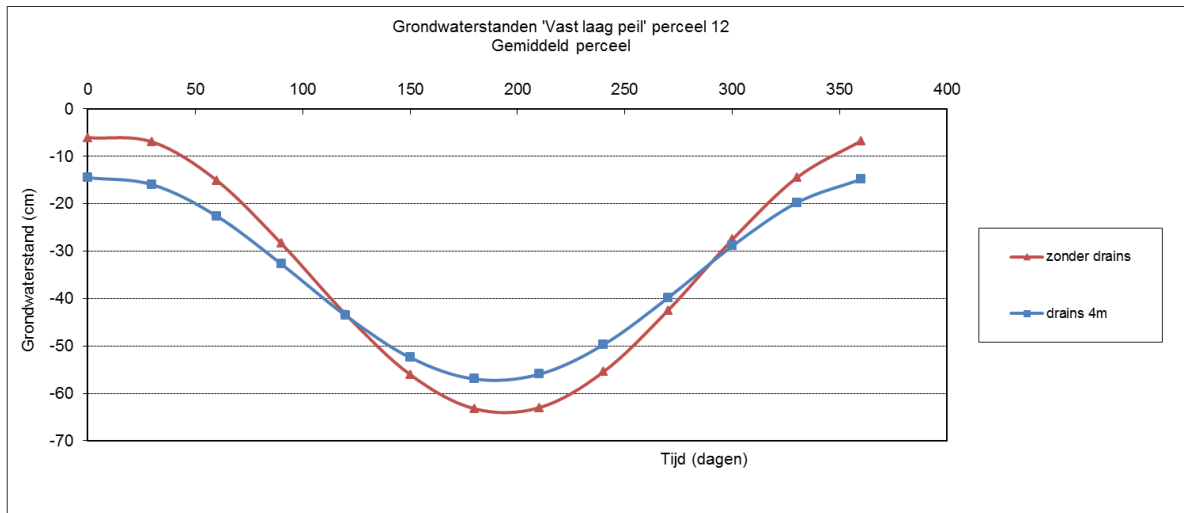
Figuur 2 Gemodelleerde grondwaterstanden perceel 22 zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m (cm -maaiveld).



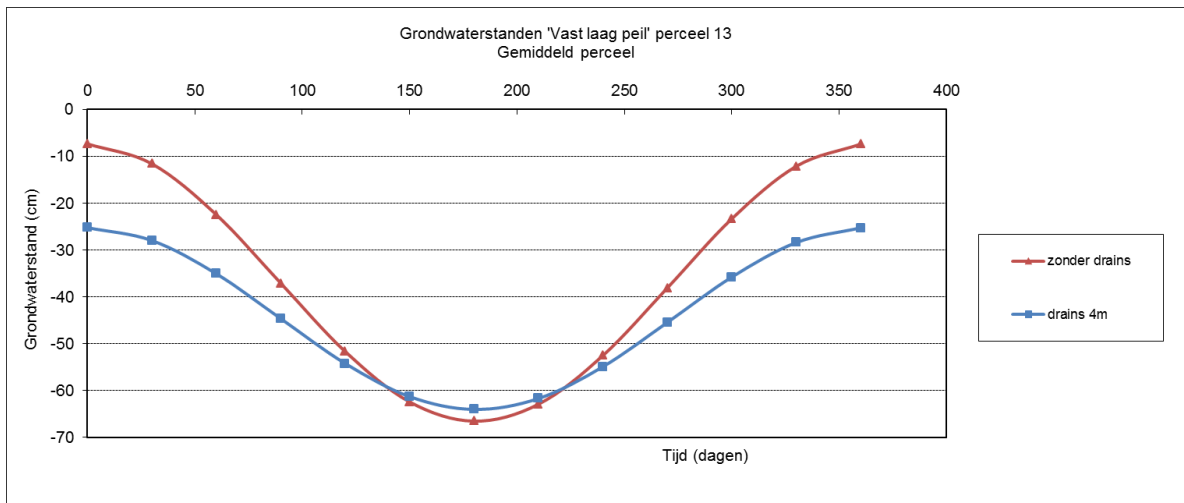
Figuur 3 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden perceel 9.1 zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m (cm –maaiveld).



Figuur 4 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden perceel 9.2 zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m (cm –maaiveld).



Figuur 5 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden perceel 12 zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m (cm –maaiveld).



Figuur 6 Gemodelleerde en werkelijke grondwaterstanden perceel 13 zonder drainage en met drainage, drainafstand 4 m (cm –maaiveld).

Bijlage 6 Gemeten droge stofopbrengsten gras

Tabel 1

Grasopbrengst (kg ds.ha⁻¹) per peilregime, per perceel, per jaar, per snede en totaal en per behandeling (C: geen drains, D: onderwaterdrains, N0: geen N-bemesting, N1: wel N-bemesting).

Peilregime	Perceel	Behandeling	2013					2014				
			Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal
Vast hoog peil	21	C-N0	2952	- ¹⁾	1647	1642	-	2718	2134	1949	1469	8270
		C-N1	4887	- ¹⁾	2235	2100	-	3823	2342	2546	1532	10243
		D-N0	3678	1340	1123	1157	7298	2704	1913	2019	1221	7856
		D-N1	5367	2589	1708	1832	11495	4367	2247	3034	1462	11111
	22	C-N0	3795	1389	- ³⁾	- ¹⁾	-	3339	1565	2500	1296	8700
		C-N1	5363	2414	- ³⁾	- ¹⁾	-	4551	2139	2984	1528	11202
		D-N0	3929	1386 ²⁾	1105	998	7418	3224	2066	1780	1424	8493
		D-N1	5719	2528 ²⁾	2016	1784	12047	4666	2467	2480	1412	11026
Zomer- en winter peil	9.1	C-N0	3846	1785 ²⁾	1858	2329	9818	4139	1976	1389	1667	9171
		C-N1	5461	2661	2692	2440	13255	5152	2711	2274	1753	11890
		D-N0	3764	1709	1553	1575	8601	4189	2255	1688	1669	9801
		D-N1	5464	2525 ²⁾	2131	2219	12339	5206	2423	2139	1744	11512
	9.2	C-N0	2934	1273	1286	1502 ²⁾	6994	2933	2068	1962	1554	8517
		C-N1	5473	2244	2310	2064	12091	4618	1909	2720	1617	10864
		D-N0	3144	1617 ²⁾	1354	1456	7570	5374	2660	1695	1834	11564
		D-N1	5518	2417 ²⁾	1888	1783	11606	5007	3114	3118	1874	13112
Vast laag peil	12	C-N0	3083	1298	1574	1811	7766	- ¹⁾	1811	2117	1685	-
		C-N1	4967	2386	2031	1962	11346	- ¹⁾	2344	3074	1924	-
		D-N0	3952	1260	1462	1949	8623	3758	2357	2372	1759	10246
		D-N1	5476	2728	1839	2300	12344	4831	3297	3135	1852	13115
	13	C-N0	2931	1233	1657	1380	7201	3832	2499	2185	1724	10241
		C-N1	5073	2316	2358	1879	11625	4967	2769	2515	1763	12014
		D-N0	3818 ²⁾	1459	1143	1439	7860	- ¹⁾	2329	2107	1711	-
		D-N1	4511 ²⁾	2662	1892	2116	11181	- ¹⁾	2854	2653	1788	-

¹⁾ Geen waarnemingen doordat koeien opbrengstveldjes verstoord hebben, ²⁾ Gemiddelde gebaseerd op één waarneming

³⁾ Geen waarnemingen doordat ganzen opbrengstveldjes verstoord hebben

Bijlage 7 Stikstofopbrengst gras

Tabel 1

Stikstofopbrengst (kg.ha⁻¹) per peilregime, per perceel, per jaar, per snede en totaal en per behandeling (C: geen drains, D: onderwaterdrains, N0: geen N-bemesting, N1: wel N-bemesting).

Peilregime	Perceel	Behandeling	2013					2014				
			Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal	Snede 1	Snede 2	Snede 3	Snede 4	Totaal
Vast hoog peil	21	C-N0	72	- ¹⁾	53	58	-	75	42	50	50	54
		C-N1	106	- ¹⁾	71	74	-	104	47	73	55	69
		D-N0	78	31	29	36	43	65	37	50	43	49
		D-N1	115	71	51	60	74	107	44	86	51	72
	22	C-N0	83	35	- ³⁾	- ¹⁾	-	75	30	68	44	54
		C-N1	124	70	- ³⁾	- ¹⁾	-	114	44	82	52	73
		D-N0	78	33 ²⁾	30	35	44	74	43	47	50	53
		D-N1	132	76 ²⁾	60	66	84	123	54	65	50	73
Zomer- en winter peil	9.1	C-N0	78	44 ²⁾	52	76	63	107	52	36	55	62
		C-N1	117	76	87	86	91	134	60	59	60	78
		D-N0	81	42	45	53	56	101	57	44	59	65
		D-N1	131	70 ²⁾	67	73	85	134	53	53	60	75
	9.2	C-N0	63	31	35	50 ²⁾	45	68	41	52	55	54
		C-N1	117	64	68	71	80	128	40	69	57	74
		D-N0	64	41 ²⁾	36	46	47	127	66	54	66	79
		D-N1	118	65 ²⁾	55	61	75	142	78	82	71	93
Vast laag peil	12	C-N0	68	33	42	63	52	-	39	67	58	-
		C-N1	105	67	61	72	76	-	46	89	71	-
		D-N0	87	34	42	70	58	98	57	69	65	72
		D-N1	130	81	60	87	90	147	88	96	72	101
	13	C-N0	69	33	44	42	47	106	57	66	61	72
		C-N1	116	70	77	66	82	159	71	73	69	93
		D-N0	89 ²⁾	37	32	49	52	-	60	58	59	-
		D-N1	109 ²⁾	73	55	73	78	-	64	81	63	-

¹⁾ Geen waarnemingen doordat koeien opbrengstveldjes verstoord hebben, ²⁾ Gemiddelde gebaseerd op één waarneming

³⁾ Geen waarnemingen doordat ganzen opbrengstveldjes verstoord hebben

Bijlage 8 Botanische samenstelling

Tabel 1

Botanische kartering 14 mei 2013 per perceel en per drainbehandeling. Binnen de drainbehandeling is onderscheid gemaakt tussen opbrengstveldjes (1-4) en perceel (P).

Perceel Omschrijving Veldje	Perceel 9.1					Perceel 9.2					Perceel 12					Perceel 13					Perceel 21					Perceel 22														
	Geen drains					Drains					Geen drains					Drains					Geen drains					Drains					Geen drains					Drains				
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P					
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98				
Engels raaigras	55	55	50	50	50	55	52	52	55	51	50	52	50	52	52	50	55	55	55	55	55	50	52	45	50	55	50	50	50	55	55	45	48	55	50	55	52	56		
veldbeemdgras																																								
ruw beemdgras	14	12	15	12	13	12	12	12	12	15	12	10	15	15	15	12	15	10	15	12	12	16	13	10	21	17	20	25	22	25	25	25	20	25	30	25	15			
timotheegras																																								
witte klaver			+	+	+		+																																	
rode klaver																																								
kweek	8	5	8	5	5	2	5	5	4	5	8	5	2	2	2	2	1	6	2	4	12	15	15	12	15	15	15	12	15	15	5	8	10	10	10	15				
fioringras	8	10	10	20	15	15	15	18	20	20	12	12	15	15	12	20	15	20	18	20	15	15	15	10	12	1	2	3	2	2	2	5	8	5	10	10	5			
gestreepte witbol	1		1		+	1	1																																	
kropaar																																								
rietgras																																								
zachte dravik																																								
ruwe smele																																								
mannagras																																								
straatgras	10	12	10	8	12	10	10	8	5	5	12	15	10	12	15	10	5	5	6	5	4	4	2	2	2	15	4	5	5	5	15	10	5	5	5	7				
grote vossestaart			1																																					
geknikte vossestaart																																								
krulzuring																																								
vogelmuur	1	1	1	1	1	1																																		
paardebloem	1	2	2	1	2	1	1	3	2	2	3	2	1	1	1	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	3				
kr boterbloem	2	2	2	3	2	3	4	2	2	2	3	4	5	2	3	2	4	2	2	2	2	2	1	3	3	2	3	2	2	2	2	1	2		2	2	2			
ridderzuring																																								
scherpe boterbloem																																								
fluitekruid																																								
kleine veldkers																																								
madeliefje																																								
akkerdistel																																								
gele waterkers																																								
grote weegbree																																								
waterpeper																																								
veldzuring																																								
speenkruid																																								
klein kruiskruid																																								
blaartrekkende boterbloem																																								
kluwenhoornbloem																																								
gewone hoornbloem																																								
varkensgras																																								
paarse dovenetel																																								
herderstasje	+	1		+																																				
pinksterbloem		+	+	+																																				
hondsdrif																																								
speerdistel																																								
herfst leeuwetand																																								
zachte ooievaarsbek																																								

Botanische kartering 22 april 2014 per perceel en per drainbehandeling. Binnen de drainbehandeling is onderscheid gemaakt tussen opbrengstveldjes (1-4) en perceel (P).

85| Livestock Research Rapport 875

Tabel 3

Botanische kartering 3 oktober 2014 per perceel en per drainbehandeling. Binnen de drainbehandeling is onderscheid gemaakt tussen opbrengstveldjes (1-4) en perceel (P).

Perceel Omschrijving Veldje	Perceel 9.1					Perceel 9.2					Perceel 12					Perceel 13					Perceel 21					Perceel 22																	
	Geen drains					Drains					Geen drains					Drains					Geen drains					Drains					Geen drains					Drains							
	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P			
Totale bezetting	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98		
Engels raaigras	55	55	50	50	50	55	52	52	55	51	50	52	50	52	52	50	55	55	55	55	55	50	52	55	50	50	45	50	55	50	50	50	50	55	55	55	55	55	45	50	50	52	50
veldbeemdgras																																											
ruw beemdgras	14	12	15	12	13	12	12	12	12	15	12	10	15	15	15	12	15	10	15	12	16	13	10	21	17	20	25	22	25	25	25	20	25	30	25	15	18	15	22	20			
timotheegras																																											
witte klaver				+	+	+			+																																		
rode klaver																																											
kweek	8	5	8	5	5	2	5	5	4	5	8	5	2	2	2	2	1	6	2	4	12	15	15	12	15	15	15	15	12	15	15	5	8	10	10	10	15	15	15	12	11		
fioringras	8	10	10	20	15	15	15	18	20	20	12	12	15	15	12	20	15	20	18	20	15	15	15	10	12	1	2	3	2	2	2	2	5	5	10	10	5	5	6	5	4		
gestreepte witbol	1		1		+	1	1																																				
kropaar																																											
rietgras																																											
zachte dravik																																											
ruwe smele																																											
mannagras																																											
straatgras	10	12	10	8	12	10	10	8	5	5	12	15	10	12	15	10	5	5	6	5	4	4	2	2	2	15	4	5	5	5	5	15	10	5	5	5	7	8	5	5	5		
grote vossestaart					1																																						
geknikte vossestaart																																											
krulzuring																																											
vogelmuur	1	1	1	1	1	1																																					
paardebloem	1	2	2	1	2	1	1	3	2	2	3	2	1	1	1	3	3	2	2	2	1	+	+	2	2	1	2	1	1	1	2	+	+										
kr boterbloem	2	2	2	3	2	3	4	2	2	2	3	4	5	2	3	2	4	2	2	2	2	1	3	3	2	3	2	2	2	2	1	2											
ridderzuring						+		+	+																																		
scherpe boterbloem																																											
fluitekruid																																											
kleine veldkers																																											
madeliefje																																											
akkerdistel																																											
gele waterkers																																											
grote weegbree																																											
waterpeper																																											
veldzuring																																											
speenkruid																																											
klein kruiskruid																																											
blaartrekkende boterbloem																																											
kluwenhoornbloem																																											
gewone hoornbloem																																											
varkensgras																																											
paarse dovenetel																																											
herderstasje	+	1		+																																							
pinksterbloem		+	+	+																																							
hondsdrif																																											
speerdistel																																											
herfst leeuwetand																																											
zachte ooievaarsbek																																											

Bijlage 9 K-waarden polder Zeevang

Tabel 1

Resultaten boorgatmetingen Mulder en Steenberg (1995)

Nr.	Aard materiaal	Diepte laag (cm -mv.)	Doorlatendheid (mm/dag)	Geografische aanduiding
1a	arm zeggeveen	50-100	0,15	Edam/IJsselmeerdijk
1b	rietzeggeveen	100-130	0,65	
7a	veenmosveen	50-100	0,17	Nabij Moordenaarbraak
7b	zeggeveen	100-130	0,35	
8	zware zavel	30-60	0,9	Zandbraak
9a	veraard veenmosveen	30-65	0,3	Onderbemaling Warder
9b	veenmosveen	65-100	0,25	
9c	zeggeveen	100-130	0,4	
11a	lichte klei	85-115	0,45	Heintjesbraak
11b	zware zavel	115-150	0,55	
12a	lichte zavel	30-65	1,2	
12b	lichte zavel	65-100	0,8	
12c	humeuze, zware zavel	100-150	0,2	
15a*	veraard veenmosveen	20-50	1,00	
15b*	zeggeveen	50-100	0,9	
b 11a	venige klei	25-55	0,05	Korsloot
b 11b	verweerde bagger	55-90	0,1	
b 11c	zeggeveen	90-125	0,25	
29a	veraarde, venige klei	30-60	0,05	Edam/Oosterweeren
29b	arm zeggeveen	60-100	0,15	
31a	veraard zeggeveen	30-60	0,15	Edam/industrieterrein
31b	arm zeggeveen	60-90	0,22	
31c	zeggerietveen	90-120	0,36	
32a	veraard zeggeveen	20-55	0,5	Onderbemalen, Deo Juvante
32b	zeggeveen	55-95	0,35	
34a	veraard veenmosveen	30-80	0,05	Middelie/Westerweeren
34b	zeggeveen	80-110	0,35	
35a	veraard veenmosveen	30-70	0,18	Axwijk
35b	veenmosveen	70-100	0,28	
35c	zeggeveen	100-150	0,38	

*onderbemaling aanwezig

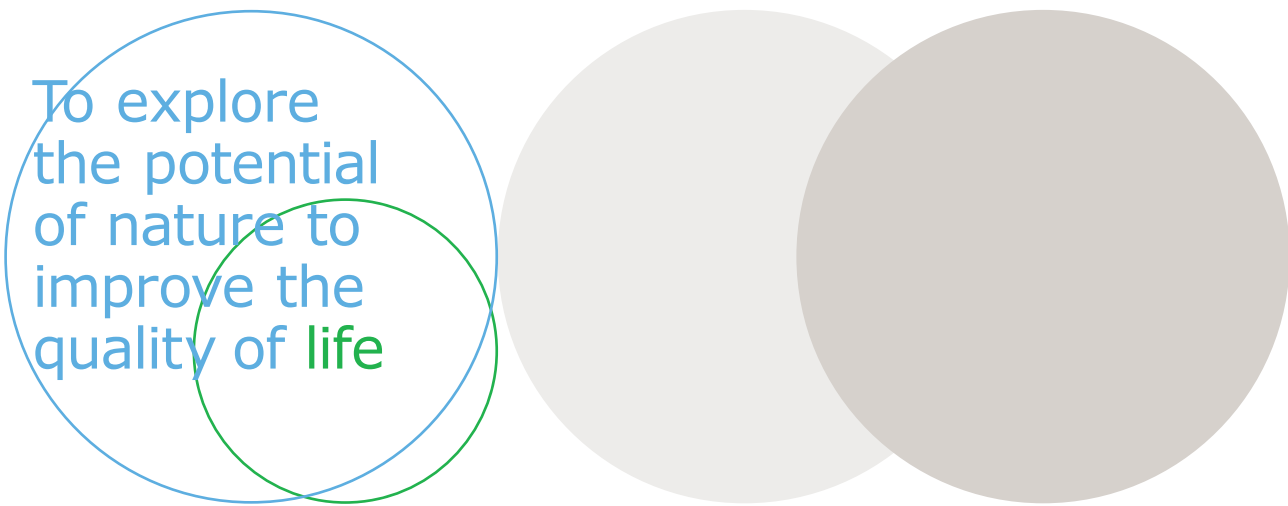
Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 875



Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 480 10 77
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 875

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

